

2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Optimalisatie van een productielijn voor automatten

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Kris HENRIOULLE

PROMOTOR :

ing. Herman SANEN

Daan Speelmans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



KU LEUVEN



KU LEUVEN

2019 • 2020

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Optimalisatie van een productielijn voor automatten

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Kris HENRIOULLE

PROMOTOR :

ing. Herman SANEN

Daan Speelmans

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica



KU LEUVEN

Deze masterproef werd geschreven tijdens de COVID-19 crisis in 2020.
Deze wereldwijde gezondheids crisis heeft mogelijk een impact gehad op
de opdracht, de onderzoekshandelingen en de onderzoeksresultaten.

Woord vooraf

Als eerste wil ik het bedrijf Autoneum Genk bedanken voor het ter beschikking stellen van hun faciliteiten voor het uitvoeren van allerhanden testen.

Vervolgens wil ik ook graag Herman Sanen, mijn hoofdbegeleider binnen Autoneum bedanken voor de nodige begeleiding bij autoneum en de afwerking van mijn thesis.

Ook wil ik Tom Smolders en Peter Schevenels voor de nodige begeleiding van de testen, uitleg en communicatie bedanken.

Uiteindelijk wil ik mijn promotor Prof. Dr. Ir. Kris Henrioulle bedanken voor de nodige begeleiding gedurende mijn masterthesis.

Inhoudsopgaven

Woord vooraf	3
Lijst van tabellen	7
Lijst van figuren	9
Verklarende woordenlijst	11
Abstract	13
Abstract in English	15
1 Inleiding	17
1.1 Situering.....	17
1.1.1 Proces	18
1.1.2 Toolwissel	20
1.2 Probleemstelling	21
1.2.1 Lasprobleem	21
1.2.2 Tool wissel	22
1.2.3 Onderzoeksvraag.....	22
1.3 Doelstellingen.....	22
1.4 Methode	23
1.4.1 Lasprobleem	23
1.4.2 Toolwissel	23
1.5 Vooruitblik.....	23
2 Literatuurstudie	24
2.1 Inleiding.....	24
2.2 Hoogfrequent lassen	24
2.2.1 HF-lasproces.....	24
2.2.2 HF-invloedfactoren	25
2.2.3 HF-vermogen invloed	27
3 Onderzoek naar brand bij hoogfrequent lassen	29
3.1 Metingen van de statische elektriciteit	29
3.1.1 Beschrijving proefopstelling statische meter	29
3.1.2 Resultaten statische meting	31
3.1.3 Bespreking resultaten statische meting	32
3.2 Metingen van dikte en gewicht van de tapijten	33
3.2.1 Voorbereiding samples dikte- en gewichtsmeting	33
3.2.2 Beschrijving proefopstelling dikte- en gewichtsmeting.....	35

3.2.3	Resultaten dikte- en gewichtsmetingen.....	36
3.2.4	Bespreking resultaten dikte- en gewichtsmetingen.....	38
3.3	Praktische testen dikte variaties.....	39
4	Verbetering van de ombouwtijden bij de vorm- en schuimpers	41
4.1	Vormpers toolwisseltijdverbetering	41
4.1.1	Schets huidige situatie vormpers.....	41
4.1.2	Aanpassingen vormpers trolley.....	42
4.1.3	Nieuw systeem vormpers trolley.....	44
4.2	Schuimpers toolwisseltijdverbetering.....	45
4.2.1	Schets huidige situatie schuimpers.....	45
4.2.2	Aanpassingen schuimpers	47
4.2.3	Nieuw systeem schuimpers	48
5	Overall equipment efficiency vergelijking.....	51
5.1	Situatie bij aanvang	51
5.2	Situatie na implementatie	51
5.3	Vergelijking	52
6	Conclusie.....	53
	Referentielijst	55

Lijst van tabellen

Tabel 1: Metingen statische energie.....	31
Tabel 2: Referentiemetingen met opgewreven ballon.....	31
Tabel 3: Nominaal, maximaal en minimaal gewichten drie verschillende stalen.....	37
Tabel 4: OEE vergelijking voor en na implementatie.....	51

Lijst van figuren

Figuur 1: Volledige opstelling lijn 14	17
Figuur 2: Vormpers en vlinder oven	18
Figuur 3: WLD 15	19
Figuur 4: WJ 16 of 17	20
Figuur 5: Foam 1, 2, 3 of 4.....	20
Figuur 6: Lijn 14 met aanduiding toolwissels.....	20
Figuur 7: Goede en slechte las	21
Figuur 8: Tegenelektrode hoogfrequent lasser.....	21
Figuur 9: HF-lasproces visualisering [2] P3356	25
Figuur 11: Vlakke elektrode.....	25
Figuur 10: Vormgevende electrode.....	25
Figuur 12: veldintensiteit RF-lassen	27
Figuur 13: verdeling veldlijnen RF-lassen	27
Figuur 15: Fraser statische meter globaal [8] P1.....	30
Figuur 14: Fraser statische meter meetpunt	30
Figuur 16: Stansmachine en stansmal	33
Figuur 17: Samplelocaties drie verschillende tapijten h' Wike NOK, h' Wike OK, Bor	34
Figuur 18: Sample locaties linker- of rechter productiehelft	34
Figuur 19: Mitutoyo IDU25 diktemeter	35
Figuur 20: Weegschaal Mettler PM2000	35
Figuur 21: Grafiek diktemetingen drie verschillende tapijten (h' Wike NOK, h' Wike OK, Bor).....	36
Figuur 22: Grafiek stalen Bor linker productiehelft.....	36
Figuur 23: Grafiek stalen Bor rechter productiehelft	36
Figuur 24: Grafiek gewichten OK- en NOK h' Wike.....	37
Figuur 25: Grafiek gewichten Bor	38
Figuur 27: Kort geschoren tapijt	40
Figuur 26: Resultaat verdikt tapijt.....	40
Figuur 28: Vormpers	42
Figuur 29: Lay-out lijn 14 zoom vormpers	42
Figuur 31: Vormperstrolley en vorklift positie	42
Figuur 30: Vormpers trolley twee posities.....	42
Figuur 32: Vormpers trolley beschikbare ruimte	43
Figuur 33: Oplossing Serapid vormpers.....	45
Figuur 34: Lay-out lijn 14 zoom schuimpersen	46
Figuur 35: Schuimpers vervangbare buffer gesloten hek.....	46
Figuur 36: Schuimpers geopende toestand.....	47
Figuur 37: Schuimpers gesloten toestand achteraanzicht	47
Figuur 38: Lijn 14 dock 2.....	48
Figuur 39: Obstakels schuimpers 3	48
Figuur 40: Schuimpers 3 nieuw systeem.....	49
Figuur 41: Schuimpers 4 nieuw systeem.....	49

Verklarende woordenlijst

2D = tweedimensionaal

EVA = polyethylene-co-vinyl

HF = hoog frequent

IR = infrarood stralen

OEE = overall equipment effectiveness

PA = polyamide

PE = polyetheen

POE = polyolefinen elastomeren

PP = polypropyleen

PU = polyurethaan

PVC = Polyvinylchloride

TPU = thermoplastisch polyurethaan

RF = radio-frequency

Abstract

Autoneum Genk is een producent van thermisch en akoestisch isolerende onderdelen voor de automobieliindustrie. Eén van de productielijnen voor vloertapijten produceert met een ondermaatse *overall equipment effectiveness* (OEE) van slechts 62,6%. Het doel van deze masterproef is om dit percentage te verhogen tot minimaal 72%.

Deze masterproef identificeerde twee cruciale problemen, waarvan het eerste zich situeert bij een hoogfrequente lasmachine om voetmatjes te lassen waarbij brandvorming (doorslag) optreedt. Er is begonnen met een onderzoek naar de mogelijke oorzaken van het probleem. Vervolgens zijn testen naar de dikte van het tapijt en de aanwezig hoeveelheid statische elektriciteit gebeurd . Tijdens de looptijd van dit project is er veranderd van leverancier. Het productieproces verschilt waardoor de fouten fors gereduceerd zijn. Een verklaring van de daling is niet gevonden, wel zijn een aantal mogelijke oorzaken uitgesloten.

Het tweede probleem bevindt zich bij het wisselen van het gevraagde tapijtsoort. Alle machines die gebruikt worden, dienen omgebouwd te worden door één persoon wat veel tijd in beslag neemt. Gedurende dit project is er voor twee machines met leveranciers, arbeiders en onderhoudspersoneel naar een nieuw buffersysteem gezocht. Hierdoor kan de gewenste ombouwtijd gehaald worden.

Door de vermindering in het aantal doorslagen is het doel van 72% reeds overschreden. Door een aantal verbeteringen aan de machines zal dit percentage verder stijgen.

Abstract in English

Autoneum, a producer of thermal and acoustic insulating parts in the automotive industry produces floor carpets from cars in Genk. One of the production lines does not perform enough because of two reasons, causing an overall equipment effectiveness (OEE) of 62.6%. this master's thesis has as purpose to raise it to 72%.

The first problem is located at a high frequency welder to weld foot mats. At some welds there occur burned spots. There has been an literature research to find the cause of the problem followed by test of the thickness and static electricity. During the project, Autoneum has changed its carpet supplier, this caused a significant decrease of the burned spots. The reason of this decrease has not been found but a few reasons are excluded.

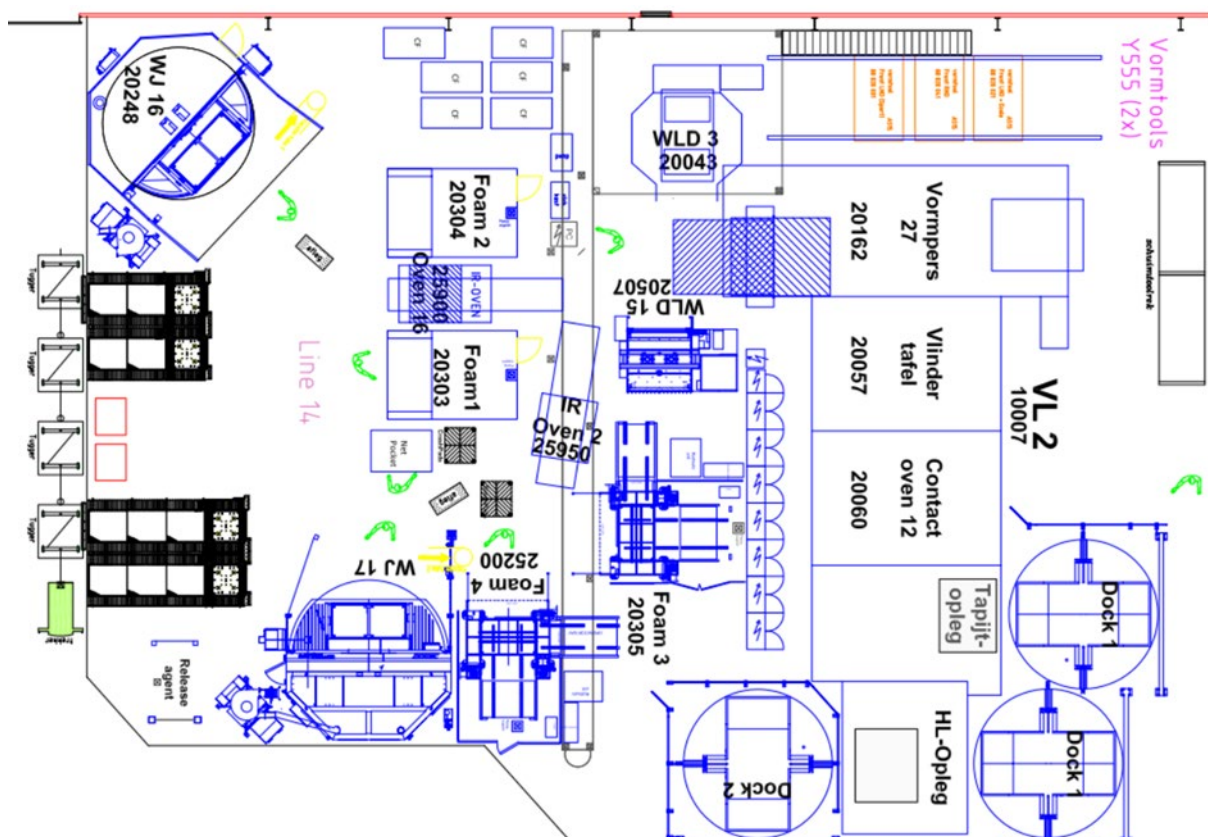
The second problem is when they have to change the requested carpet type. At this moment all the used machines have to be converted, to the new type, by one person, this process takes a lot of time. During this project two machines are tested to speed up this process. Together with maintenance- and safety staff and multiple suppliers, a solution is found to reduce the converting time.

Because of the reduction of burned carpets the target of 72% is achieved. When the improvements will be implemented, the OEE will be even better.

1 Inleiding

1.1 Situering

Autoneum is een wereldleider op gebied van geluids- en warmteisolatie in de automobiel, met vestigingen over de hele wereld. Zij produceren componenten om het rijcomfort te verbeteren, passagiers te beschermen bij ongevallen, isolatie van motoren, enz. Autoneum telt momenteel 55 vestigingen in 25 verschillende landen met een totaal van om en bij de 13000 werknemers. De hoofdzetel bevindt zich in Zwitserland en er is één vestiging in Genk [1]. In Genk worden onder andere de vloertapijten voor Ford en Volvo gemaakt. Als laatstejaars student IIW EM aan de KU Leuven/ UHasselt voer ik een onderzoek binnen de vestiging te Genk. Op deze site zijn er twee grote productiehallen met in totaal 20 verschillende productielijnen. Eén van deze lijnen (lijn 14 genoemd) produceert momenteel verschillende types vloertapijten voor de Volvo XC40. Binnenkort komen er nieuwe modellen van de XC40 op de markt, waaronder een volledig elektrisch model. Door deze veranderingen zijn er ook aanpassingen nodig aan de tapijten, waarvoor de productielijn aangepast dient te worden. Een vloertapijt is aanwezig bij alle zitplaatsen van een auto (zowel chauffeur als passagiers voor- en achteraan). Deze tapijten hebben allemaal een andere vorm maar worden in één keer geproduceerd. De volledige *lay-out* wordt in Figuur 1 in 2D voorgesteld.



Figuur 1: Volledige opstelling lijn 14

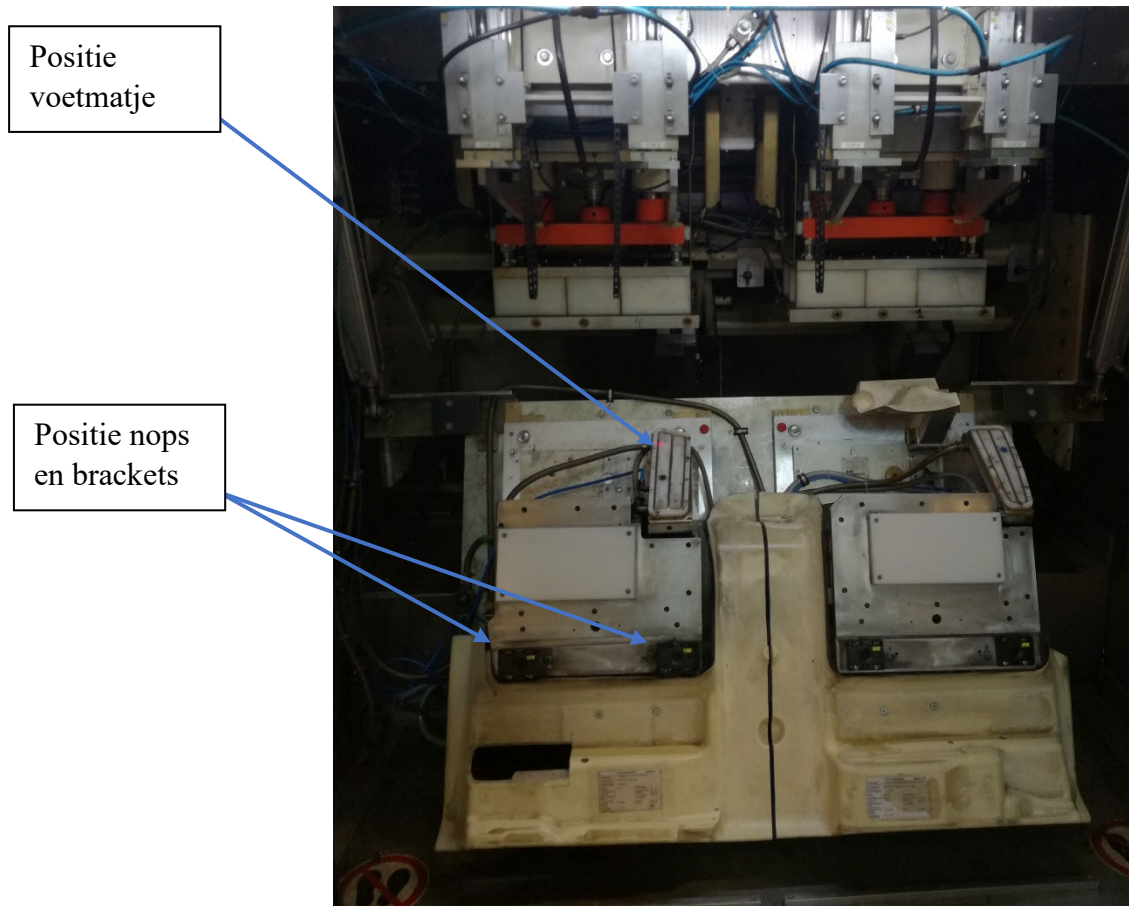
1.1.1 Proces

In een eerste stap worden met behulp van een *pick and place unit* twee lagen *heavy layer* (POE + vulmiddel) op elkaar gestapeld in de ‘HL-Opleg’. Vervolgens wordt het effectieve tapijt (polyester) er overheen geschoven. Wanneer de drie lagen op elkaar liggen, worden ze langs de zijkant vastgepakt en in de ‘contactoven’ geplaatst. Deze oven bestaat uit twee verwarmde platen waartussen de drie lagen geperst worden en zo aan elkaar smelten. Als ze hier uit komen worden ze op temperatuur gehouden met IR straling in de ‘vlinderoven’. Op de volgende positie wordt het tapijt in de ‘vormpers’ geplaatst. In Figuur 2 wordt deze weergegeven met op de achtergrond de ‘vlinderoven’. Vervolgens sluit de pers waardoor de voor- en achterzijden door een mes van elkaar gescheiden worden en wordt de tool snel gekoeld. Door dit koelproces blijft de gewenste vorm behouden.



Figuur 2: Vormpers en vlinder oven

In de volgende stap worden er op het tapijt van de bestuurder en dat van de voorste passagier vier bevestigingspunten (verder *nops* en *brackets* genoemd) voor automatten aangebracht. Dit gebeurt gelijktijdig met het aanbrengen van een rubberen voetmatje. Het voetmatje wordt met behulp van een hoogfrequent lasmachine aan het tapijt gelast op de voorziene positie in de ‘WLD 15’. Zoals in Figuur 3 te zien moet het rubberen matje juist worden gepositioneerd. Vervolgens wordt het tapijt geplaatst en sluit de machine. Bij het sluiten worden de nops en brackets in elkaar geklikt en start het lasproces. ‘WLD 5’ is een nieuw toestel dat bij de start van dit onderzoek nog niet in gebruik was. Over deze machines wordt meer verteld in hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4.



Figuur 3: WLD 15

In de voorlaatste stap wordt er nog schuim onder het tapijt gespoten met opvullende *crash pads* in de hiervoor ontworpen spuitmallen. Vooraleer de tapijten in de spuitmachine gelegd worden is er een buffer voorzien waar de tapijten voorverwarmd worden met behulp van IR stralen. Deze voorverwarming dient om een beter hechting te krijgen. Ook wordt er een antikleefproduct aangebracht zodat de opgespoten tapijten makkelijk uit de tool loskomen en worden de crash pads op de juiste positie gepositioneerd. In Figuur 1 is de schuimpers 'foam 1,2,3 of 4' weergegeven, de crash pads worden tegen de bovenzijde van de tool vastgedrukt. Wanneer deze stappen doorlopen zijn, wordt het tapijt in de pers gelegd, sluit de tool en wordt het schuim gespoten.

Als laatste stap wordt het correcte contour nog uitgesneden en van de nodige gaten voorzien. Dit gebeurt met een waterjet snijmachine 'WJ16 of WJ17' afgebeeld in Figuur 4. De waterjetmachine is opgebouwd uit een platform dat 360° kan draaien rond het middelpunt met aan twee kanten dezelfde opstelling. Dit punt ligt in het midden van de wand wat te zien is op Figuur 4. Wanneer een tapijt op de tool wordt geplaatst, draait het platform rond en is het tapijt naar de binnenkant verplaatst. Aan de binnenkant zijn er twee waterjetrobots die alle nodige stukken uitsnijden. Wanneer deze uitgesneden worden kan het vorige tapijt verwijderd en het volgende al klaargelegd worden. Deze manier van werken verkort de procestijd.



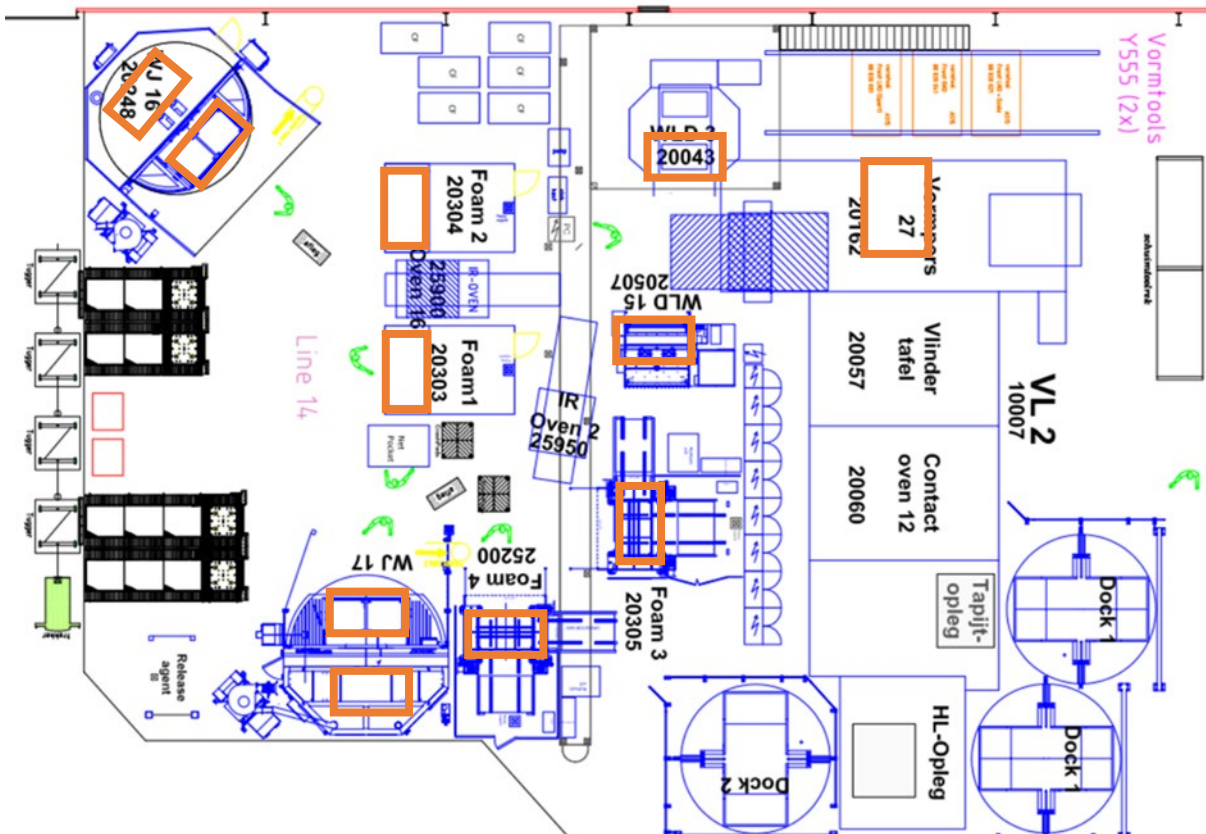
Figuur 4: WJ 16 of 17



Figuur 5: Foam 1, 2, 3 of 4

1.1.2 Toolwissel

In Figuur 6 is met een gekleurde kader aangeduid waar een toolwissel dient uitgevoerd te worden. Aan beide waterjet installaties is dit twee keer, elke schuiminstallatie één keer en dan nog drie wissels bij het gedeelte voor vormgeving. In het totaal zijn er 11 tools die achter elkaar door één toolwisselaar gewisseld worden.



Figuur 6: Lijn 14 met aanduiding toolwissels

1.2 Probleemstelling

Lijn 14 werkte aan het begin van deze thesis gemiddeld aan een OEE¹ van 62.6%. Dit percentage is veel te laag. Andere lijnen in de hal halen een OEE tussen de 88% en 95%. Door deze lage efficiëntie worden er minder afgewerkte producten afgeleverd dan gevraagd. Naar de toekomst toe brengt dit een groot productietekort met zich mee. Er zijn twee belangrijke oorzaken van de lage OEE namelijk een probleem in het lasproces en een tijdsintensieve toolwissel.

1.2.1 Lasprobleem

Het grootste probleem is het stilvallen van de productie door brand bij het lassen van de voetmat aan het tapijt. Deze brand ontstaat op onregelmatige tijdstippen en de oorzaak ervan is tot op heden nog niet achterhaald.

Een gelijkaardig probleem treedt op wanneer er een fout in de generator ontstaat waardoor er een piekvermogen gestuurd wordt. Als dit optreedt geeft de machine een foutmelding en is er meestal een gat gebrand door het tapijt en matje. Deze twee problemen worden ook wel doorslag genoemd.

In Figuur 8 is een tegenelektrode van de hoogfrequent lasser te zien met brandsporen en in Figuur 7 zijn zowel een goede verbinding als één met een foute verbinding te zien. Wanneer er zo een brand of doorslag optreedt, moet de hoogfrequent tool gedemonteerd, gezuiverd (als de reserve tool nog niet zuiver is) en terug gemonteerd worden. Het reinigen is een zeer tijdrovend proces waardoor heel de productielijn stilvalt en vijf arbeiders tijdelijk niets te doen hebben. Zo een doorslag treedt tot twaalf keer per productiepost van acht uur op.



Figuur 7: Goede en slechte las



Figuur 8: Tegenelektrode hoogfrequent lasser

¹ OEE is de totale efficiëntie van de volledige lijn rekening houdend met de machine-beschikbaarheid, prestaties en efficiëntie.

1.2.2 Tool wissel

Een tweede groot probleem treedt op wanneer de nieuwe modellen moeten geproduceerd worden. Vanaf dat moment vinden er veel meer toolwissels plaats en is het dus van cruciaal belang dat dit zo snel en efficiënt mogelijk verloopt. Momenteel wordt er gewerkt met twee verschillende tools per productiestap en gaat dit uitgebreid worden naar vijf verschillende tools per productiestap. De geraamde tijd aan toolwissels per week, in de huidige toestand van de lijn is 4 keer 2uur, 4 keer 1uur 14minuten en 4 keer 30minuten (afhankelijk van wat er allemaal moet vervangen worden). Dit zorgt voor een productieverlies van 13.75%. Deze lange wisseltijd is te verklaren door de aanwezigheid van slechts één arbeider (toolwisselaar) die de tools één voor één moet wisselen met behulp van een vorklift. In Figuur 6 is aangeduid waar er tools moeten gewisseld worden.

1.2.3 Onderzoeksvraag

De hoofdonderzoeksvraag is als volgt geformuleerd:

Hoe kan de overall equipment effectiveness van Lijn 14 verbeterd worden t.o.v. de huidige situatie?

Deze hoofdonderzoeksvraag kan verder opgedeeld worden in volgende deelonderzoeksvragen:

Hoe kan doorslag bij het hoogfrequent lassen vermeden worden?

Op welke manier kunnen de toolwissels sneller en efficiënter verlopen?

1.3 Doelstellingen

Autoneum is van start gegaan met dit verbeteringsproject om productietekorten die gaan optreden te vermijden. Op korte termijn beogen we een OEE verbetering tot 72% waar ook dit onderzoek deel van uit maakt.

Om de beoogde 72% te halen is een reductie tot één doorslag per dag voor het hoogfrequente lasproces vereist. Er zal rond dit hoogfrequent lassen een studie gebeuren. Op basis van deze studie worden testen uitgevoerd die het probleem kunnen lokaliseren. Uiteindelijk moet er een permanente oplossing geïmplementeerd worden in de machine/omgeving. Dit is dan ook het doel van het onderzoek.

Wat de toolwisseltijd betreft is het de bedoeling dat het werk van de toolwisselaar verdeeld wordt over vijf lijnarbeiders samen met de toolwisselaar. Door het parallel uitvoeren van al deze taken is een reductie tot 8 keer 40' en 4 keer 30' beoogd. Bij de machines zijn er structurele aanpassingen nodig zodat de wisseling parallel kan gebeuren. Het doel is om voor één van de machines van lijn 14 met een concreet voorstel te komen. Dit voorstel moet passen binnen het volledige toolwisselplan en uitvoerbaar zijn voor augustus 2020 met het in acht nemen van de veiligheid voor de werknemers. Voor de waterjets en de schuimpersen zijn er al een aantal aanpassingen gebeurd.

1.4 Methode

1.4.1 Lasprobleem

Vermits de oorzaak van de doorslagen nog niet gekend is moet er eerst onderzocht worden welke deze kunnen zijn. Hiervoor is een uitgebreide literatuurstudie nodig van het hoogfrequent lassen enerzijds en van de materialen waarmee het product vervaardigd wordt anderzijds. Wanneer er parameters gevonden zijn welke de oorzaken kunnen zijn is het de bedoeling deze parameters in het extreme te gaan behandelen zodat een doorslag gewenst ontstaat. Op deze manier is het de bedoeling concreet te kunnen voorspellen wanneer een doorslag plaatsvindt en wanneer niet. In een volgende stap is het nodig om oorzaken van het lasprobleem die bij de testen aan het licht zijn gekomen permanent uit te schakelen zodat de frequentie van de doorslagen drastisch vermindert.

1.4.2 Toolwissel

Vermits er al een aantal aanpassingen gedaan zijn om bij de waterjets en de schuimpers de toolwisseling sneller te laten verlopen, focust dit project zich op het offline voorbereiden van het wisselen bij de vormpers en schuimpers. Er wordt bij Autoneum bij voorkeur gewerkt met vast, gekende leveranciers. Deze moeten gecontacteerd worden om samen naar de mogelijkheden te kijken. Op basis van deze gesprekken, overleg met veiligheidscoördinatoren en onderhoudspersoneel wordt een specificatielijst opgesteld waar de aanpassing aan moeten voldoen. Vervolgens moet er overlegd worden tussen leverancier, management, onderhoudspersoneel, ... tot het ontwerp op punt staat en besteld kan worden. In de laatste stap wordt de plaatsing begeleid en de eventueel optredende problemen opgelost.

1.5 Vooruitblik

Deze thesis behandelt de twee grote problemen na elkaar. Met betrekking tot het lasprobleem worden eerst de resultaten van de literatuurstudie meegedeeld zodat duidelijk wordt waar de knelpunten kunnen liggen.

In het volgende onderdeel worden de uitgevoerde testen uitgelegd, hun resultaten behandeld en mogelijke oorzaken besproken.

In het volgende topic wordt er dieper in gegaan op de verbetering van de toolwisseltijd. In een eerste deel hiervan wordt de huidige situatie grondig geschetst vervolgens wat de beoogde aanpassingen zijn en uiteindelijk hoe dit kan geïmplementeerd worden of al is gebeurd. En dit steeds voor de vormpers en schuimpers afzonderlijk.

In het voorlaatste puntje wordt het percentage OEE vergeleken tussen de begintoestand en het uiteindelijke resultaat. Er wordt ook een deel toegevoegd over de invloedfactoren op het lassen die geen betrekking hebben op het werk dat verricht is binnen deze thesis maar wel nodig zijn om een verklaring te kunnen geven voor de verandering in het percentage OEE.

In de laatste paragraaf formuleert er een conclusie.

2 Literatuurstudie

2.1 Inleiding

Om te achterhalen wat de oorzaken kunnen zijn van de doorslagen en verbrande plekken op de tapijten is het belangrijk duidelijk te achterhalen wat de cruciale punten zijn die de temperatuur doen stijgen bij hoogfrequent lassen. Een tweede belangrijke groep parameters zijn de externe invloedfactoren op de temperatuur zoals vervuilingen, het kanten effect, statische elektriciteit en de gebruikte materialen.

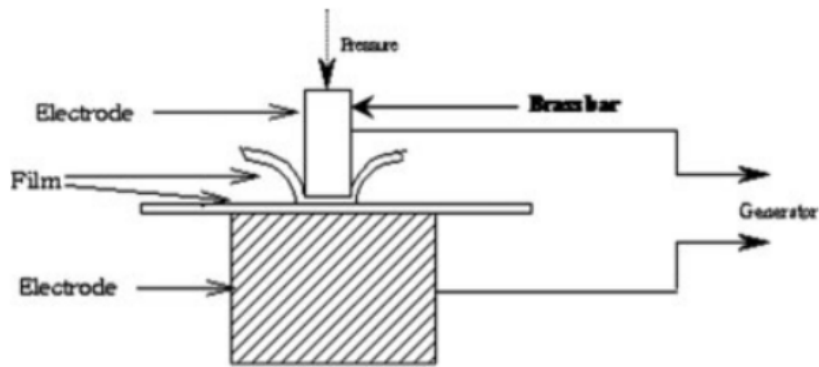
De hoogfrequent-tapijt-lasmachine die gebruikt wordt bij Autoneum is de TSM-EX van fabrikant Schirmacher

2.2 Hoogfrequent lassen

Net als bij conventioneel lassen is er bij HF-lassen warmte nodig om de onderdelen te smelten en met elkaar te verbinden. Om een materiaal HF-lasbaar te maken moeten de moleculen aan het trillen gebracht worden. Om dit te verwezenlijken moet het materiaal beschikken over permanente dipolen. Materialen die hier over beschikken zijn PVC, EVA, PA, TPU en PU. Materialen die hier niet over beschikken zijn PE en PP [2],[3]. Wanneer vervolgens de temperatuur voldoende hoog oploopt, wordt het materiaal vloeibaar en door het uitoefenen van een externe kracht vloeien de materialen in elkaar over. Bij het afkoelen is dan een lasverbinding gevormd.

2.2.1 HF-lasproces

Door het aanbrengen van contactwarmte aan een materiaal is het mogelijk dat de buitenkant van een materiaal warm genoeg is om te lassen maar de binnenkant nog niet [2]. Eveneens is het mogelijk dat door het aanbrengen van contactwarmte het materiaal beschadigd geraakt (brandsporen). Hoogfrequent lassen biedt hier de oplossing. Bij deze lastechniek wordt hoogfrequente energie omgevormd in warmte-energie. De twee of meer te lassen onderdelen worden tussen twee elektrodes geplet, waar de nodige kracht op wordt gezet zodat het materiaal goed hecht. In Figuur 9 is deze opstelling visueel voorgesteld. Er is een wisselend veld tussen de twee elektrodes van $27.12\text{MHz} \pm 0.6\%$. Vermits er gewerkt wordt met diëlektrische materialen gaan de elektronen trillen. Door deze snelle bewegingen gaat het materiaal opwarmen. Deze trillingen hebben bewegingsamplitudes tussen $1\mu\text{m}$ en $25\mu\text{m}$ [4]. De onderste elektrode is meestal een vlakke plaat, bij Autoneum zoals op Figuur 11 voorgesteld. De bovenste elektrode heeft de vorm zoals de las er moet uitzien. Figuur 10 toont de vorm van de voetmatjes van lijn 14.



Figuur 9: HF-lasproces visualisering [2] P3356



Figuur 10: Vormgevende elektrode



Figuur 11: Vlakke elektrode

Rondom de vormgevende elektrode wordt er gewerkt met materiaal dat niet beïnvloed wordt door de HF-machine. Op deze manier blijft de vorm van de tool intact en kan dit proces zeer snel en vaak herhaald worden, eveneens blijft het proces zo vrij van afwijkingen.

2.2.2 HF-invloedfactoren

Een hoogfrequent lasmachine is afhankelijk van een groot aantal parameters. De parameters die van belang zijn voor dit onderzoek zijn:

- Tooldruk
- Elektrode diepte
- HF-vermogen
- Las- en afkoeltijd
- Elektrode temperatuur

Hoewel dit proces vrij flexibel is en niet onmiddellijk fout loopt als één van de parameters niet helemaal juist staat, gaat de kwaliteit wel variëren.

Tool druk

Dit is de druk of kracht waarmee de tools tegen elkaar worden gedrukt. Wanneer de druk te laag is, gaat er een slechte hechting optreden. Wanneer deze te hoog is wordt het materiaal weggeduwd en treedt er vervorming op.

Elektrode diepte

Dit is de afstand tussen de bewegende en vaste elektroden. Wanneer deze afstand te klein is zal er meer vermogen worden opgenomen.

HF-vermogen

Het vermogen dat in de las wordt opgenomen is afhankelijk van de gehele elektrische sturing maar wordt voornamelijk geregeld met een instelbare condensator. Het is zeer belangrijk dat het vermogen niet te hoog is omdat dit een slechte las kan veroorzaken of onderdelen kan beschadigen.

Las- en afkoeltijd

Wanneer de (smelt)temperatuur in de las niet langer toe neemt gaat het vermogen dalen. Vanaf dat moment moet de las beëindigd worden. Gebeurt dit niet, gaat het materiaal vloeibaar en te warm worden. Op deze manier kan de las of het toestel beschadigd geraken.

De afkoeltijd is pas van belang bij een grote productie. Vermits er een groot vermogen toegevoegd wordt aan het materiaal, gaan na verloop van tijd de tool en omringende instrumenten opwarmen. Hier wordt geen rekening gehouden met de tijd dat de las en machine kunnen afkoelen. Zo kunnen deze in de loop van tijd te warm worden.

Elektrode temperatuur

Vermits het materiaal niet enkel door het HF-vermogen moet opgewarmd worden kan er tijd bespaard worden door met de elektrode temperatuur te variëren.

2.2.3 HF-vermogen invloed

Het benodigde vermogen P voor de HF-machine kan globaal berekend worden met formule (2) volgens [4, P. 24]

$$P = (L * S^{-1} * D) + \left(L * \frac{2E}{1000} \right) \quad (1)$$

$$P = L(DS^{-1} + 0.002E) \quad (2)$$

L= lengte van de las in mm

D = breedte van de las in mm

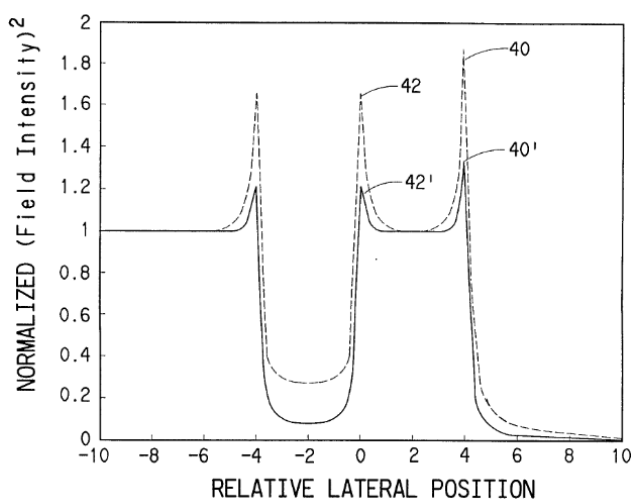
E = vermogensverlies omwille van de elektroderand

S = aantal mm² / kW lasvermogen

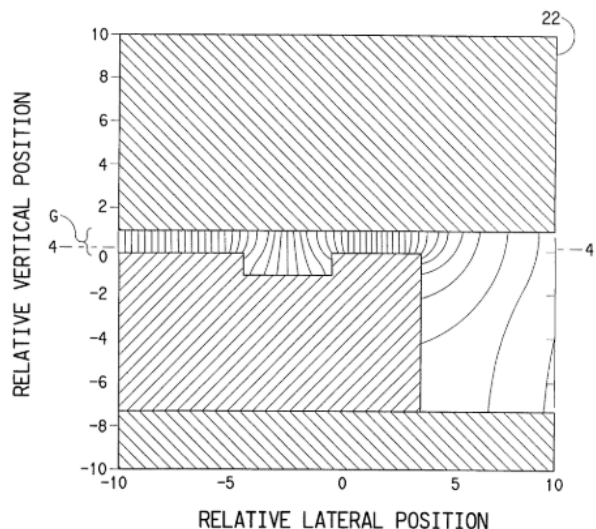
Afhankelijk van een groot aantal omgevings- en machine-instellingen moet dit proefondervindelijk geoptimaliseerd worden door bekwaam personeel. Eveneens wordt er rekening gehouden met het generatorvermogen dat maar voor 60% in de las zelf wordt opgenomen. Het resterende vermogen gaat verloren.

Kanten effect

Patent [6] handelt over een machine om thermoplastische matjes op een tapijt te lassen met behulp van *Radio-frequency (RF)* energie. 27.12MHz zoals bij Autoneum gebruikt wordt valt binnen het RF-bereik. Een interessant aspect dat door hun in kaart is gebracht is de verdeling van de elektrische veldlijnen. De verdeling is voorgesteld door een reeks van dunne lijnen in Figuur 13. De bijhorende intensiteiten zijn weergegeven in Figuur 12.



Figuur 12: veldintensiteit RF-lassen



Figuur 13: verdeling veldlijnen RF-lassen

Op Figuur 13 is de vlakke tegenelektrode voorgesteld door het bovenste gedeelte (aangeduid met nummer 22). In de opening waar de veldlijnen zijn getekend liggen normaal gezien het tapijt en het matje maar deze zijn nu voor de duidelijkheid weggelaten. Het laatste onderdeel

is de vormgevende elektrode. Wat onmiddellijk opvalt is dat aan de hoeken van de vormgevende elektrode meerdere veldlijnen samenkomen. Dit leidt tot een intensiteitspiek zoals in Figuur 12 is voorgesteld. Aan de zijkant is er dus ook meer warmte opgewekt en dit is dus ook het kritiek punt bij HF- en RF-lassen.

Vervuiling

Hoe meer dipolen er aanwezig zijn, hoe hoger de temperatuur gaat worden[2]. Vervuilingen van het tapijt, matje of de tool die veel dipolen bevatten gaan dus ook de temperatuur verhogen. De stof die gebruikt wordt om de matten een zwarte kleur te geven is koolstof. Bij een doorslag wordt er ook koolstof gevormd. Dit heeft een zeer hoog dipool karakter waardoor dit lokaal tot zeer hoge temperaturen leidt.

Gebruikte materialen

Wat de gebruikte materialen betreft moet er gekeken worden naar het aantal dipolen die aanwezig zijn in het materiaal. De matten zijn gemaakt van polyester wat volgens [7] een goed dipool karakter bezit.

Statische elektriciteit

Volgens [4] is de statische elektriciteit die aanwezig is op een substraat een invloed factor op het vermogen opgenomen in de las. Wanneer de aanwezige statische elektriciteit te hoog is gaan de moleculen eerder aan het trillen gebracht worden en kan de temperatuur sneller dan gewenst toe nemen.

3 Onderzoek naar brand bij hoogfrequent lassen

Zoals bij de inleiding al aangehaald gaat de OEE fors dalen door het aantal doorslagen en verbrande tapijten. Uit de literatuurstudie zijn een aantal voor de hand liggende en een aantal minder voor de hand liggende oorzaken aan het licht gekomen. In de afgelopen jaren zijn al veel optimalisaties van de machine-instellingen gebeurd, zowel door het bedienend en coördinerend personeel als door de machineproducent. Er zijn allerhande testen uitgevoerd op externe factoren zoals vochtige tapijten, gebruik van te veel carbon black bij productie, te warme of te koude tapijten die tot doorslag konden leiden. Ook de producent is al meerdere malen ter plaatste geweest om controles uit te voeren van de machineparameters. Uit al deze testen is gebleken dat de machineparameters niet de oorzaak zijn van het lasprobleem. In deze thesis is er dus niet meer gekeken naar de parameters van de machine zelf.

Waar wel aandacht aan geschonken gaat worden in het eerste hoofdstuk is het feit dat het vermogen tijdens de las kan beïnvloed worden door de aanwezigheid van statische elektriciteit op het tapijt. Wanneer deze te hoog is gaat er te veel vermogen opgenomen worden in de las en wordt deze eventueel te warm.

Een tweede onderdeel waar onderzoek naar is gevoerd is het gebruikte tapijt. Gedurende de thesis is er veranderd van tapijtenleverancier, dit heeft een verandering van aantal doorslagen met zich mee gebracht. Twee van de afwijkende parameters zijn in kaart gebracht.

3.1 Metingen van de statische elektriciteit

3.1.1 Beschrijving proefopstelling statische meter

Voor de metingen van de statische elektriciteit is er gebruik gemaakt van een statische meter van Fraser zoals afgebeeld in Figuur 14 en Figuur 15. Om de statische energie te meten moet deze verbonden worden met een in de buurt aanwezige aarding via de metalen connector aan de onderkant zie Figuur 15. De aarding dient als referentie voor de metingen. Op Figuur 14 is de bovenzijde van de meter afgebeeld, met een vlak metalen oppervlak dat de statische energie meet. Het toestel dient op een afstand van ongeveer 100mm van het te meten oppervlak gehouden te worden om een correcte meting te doen.

Voor de praktische metingen is er tijdens de productie, vlak voor het tapijt het lastoestel in gaat telkens een meting uitgevoerd. Door de meting vlak voor het lassen te doen, zijn alle factoren die in de voorbehandeling de statische energie nog kunnen verhogen mee in rekening gebracht. Om het resultaat nog betrouwbaarder te maken zijn er meerdere sets metingen uitgevoerd tijdens verschillende dagen en op verschillende tijdstippen.



Figuur 14: Fraser statische meter meetpunt



Figuur 15: Fraser statische meter globaal [8] P1

3.1.2 Resultaten statische meting

In Tabel 1 is het resultaat te zien van de metingen op de statische elektriciteit. Bij deze steekproef van 150 metingen waren er twee tapijten waarbij een doorslag voor kwam. De waardes (0.07kV en 0.18kV) gemeten zijn bij tapijten die de doorslag ondervonden zijn in het vetgedrukt aangeduid in Tabel 1. In Tabel 2 staan resultaten van metingen gedaan met dezelfde meter maar op de statische elektriciteit van een opgewreven ballon.

Tabel 1: Metingen statische energie

	set 1	set 2	set 3	set 4	set 5	set 6
meting	resultaat (kV)	resultaat (kV)	resultaat (kV)	resultaat (kV)	resultaat (kV)	resultaat (kV)
1	0,15	0,19	0,21	0,05	0,12	0,24
2	0,11	0,21	0,15	0,15	0,17	0,12
3	0,21	0,14	0,10	0,19	0,25	0,13
4	0,03	0,11	0,21	0,06	0,08	0,14
5	0,08	0,01	0,08	0,07	0,09	0,08
6	0,12	0,03	0,04	0,10	0,12	0,17
7	0,15	0,09	0,07	0,21	0,13	0,19
8	0,25	0,38	0,03	0,15	0,2	0,26
9	0,09	0,04	0,12	0,18	0,14	0,09
10	0,10	0,15	0,18	0,04	0,12	0,04
11	0,12	0,16	0,16	0,08	0,08	0,06
12	0,15	0,21	0,19	0,15	0,03	0,08
13	0,14	0,07	0,13	0,03	0,08	0,07
14	0,21	0,02	0,08	0,14	0,09	0,12
15	0,04	0,18	0,07	0,11	0,10	0,18
16	0,17	0,23	0,10	0,07	0,13	0,18
17	0,26	0,14	0,11	0,05	0,15	0,11
18	0,08	0,12	0,34	0,15	0,08	0,28
19	0,07	0,08	0,21	0,06	0,09	0,17
20	0,12	0,06	0,18	0,22	0,15	0,09
21	0,18	0,12	0,17	0,14	0,11	0,19
22	0,09	0,14	0,09	0,13	0,07	0,12
23	0,04	0,13	0,12	0,09	0,04	0,08
24	0,18	0,20	0,18	0,07	0,21	0,17
25	0,26	0,09	0,25	0,15	0,17	0,07

Tabel 2: Referentiemetingen met opgewreven ballon

	referentie
meting	resultaat(kV)
1	11,6
2	6,5
3	7,5
4	4,6
5	9,5

3.1.3 Bespreking resultaten statische meting

Zoals al duidelijk werd in Tabel 1 zijn de metingen van de statische energie allemaal onder de 0.34 kV. Als we deze vergelijken met de referentiemetingen van de opgewreven ballon valt het op dat deze beduidend lager liggen. Eveneens is er geen verschil te zien in de statische elektriciteit tussen tapijten met en zonder doorslag- en brand problemen.

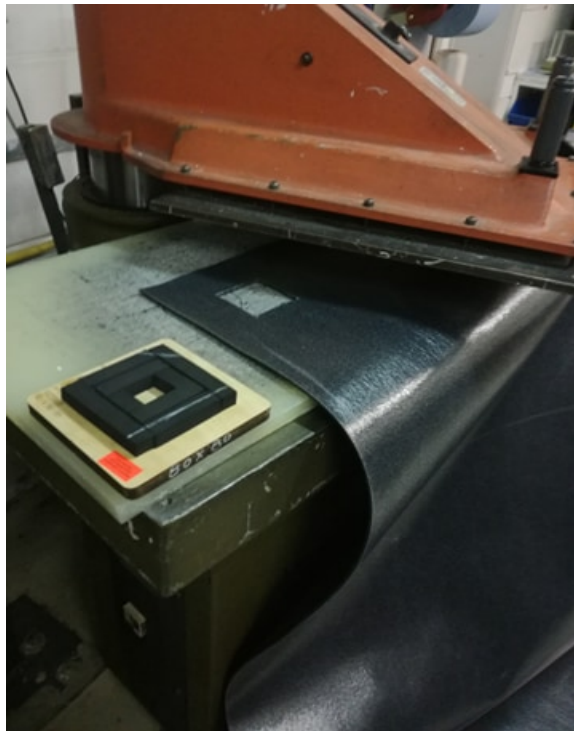
Vooraleer de tapijten gevormd worden bezitten de afzonderlijke vezels van het tapijt een zeer hoge hoeveelheid statische energie. Om dit probleem er uit te halen worden de tapijten bij de producent behandeld met een antistatisch product. We kunnen dus besluiten dat dit product zijn werk doet. Statische elektriciteit veroorzaakt geen doorslag- en brandproblemen in de productie op lijn 14.

3.2 Metingen van dikte en gewicht van de tapijten

Een tweede reeks testen werden op de tapijten zelf uitgevoerd. Als er langere of meer haartjes op hetzelfde oppervlakte staan vergroot het aantal aanwezige dipolen. Vermits deze aan het trillen gebracht moeten worden zoals bleek uit het literatuuronderzoek hebben zij een invloed op het opgenomen vermogen. Deze variaties kunnen lokaal tot te hoge temperaturen leiden. In eerste instantie is een meting gedaan van de dikte en vervolgens ook van het gewicht op verschillende plaatsen op éénzelfde tapijt. Wanneer de haartjes hoger zijn of dichter bij elkaar staan gaan er meer dipolen op eenzelfde oppervlakte staan. Hierdoor gaan er lokaal meer dipolen aanwezig zijn wat meer doorslag creëert

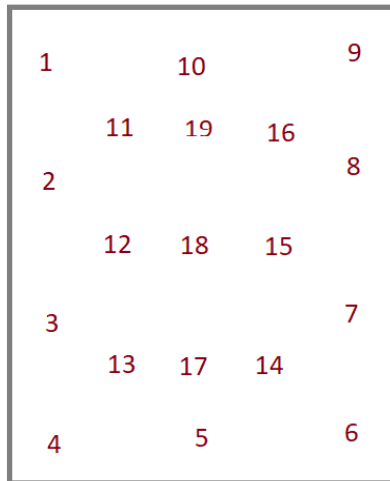
3.2.1 Voorbereiding samples dikte- en gewichtsmeting

Om betrouwbare en gemakkelijke metingen te kunnen uitvoeren op de dikte en het gewicht van de tapijten is het belangrijk dat alle stalen even groot zijn. Om dit te bereiken zijn de stalen uitgestanst met behulp van de machine die op Figuur 16 is afgebeeld. Voor deze metingen zijn er vierkanten van 80 mm op 80 mm gestanst uit verschillende tapijten.



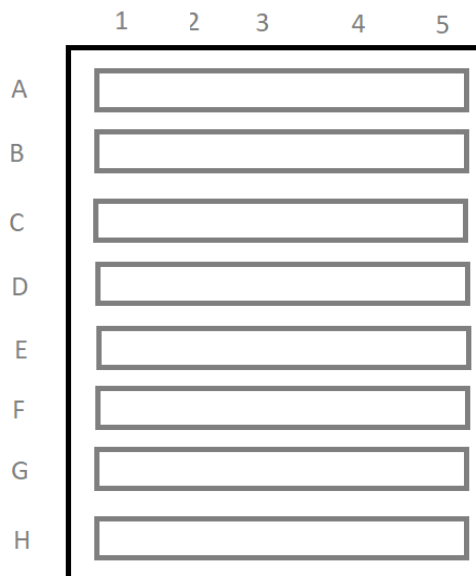
Figuur 16: Stansmachine en stansmal

In eerste instantie is er een vergelijking gemaakt tussen drie verschillende soorten tapijten van twee verschillende leveranciers. Begin 2020 is er overgeschakeld van een leverancier uit Heckmondwike (Verder: h' Wike) naar een leverancier uit Bor (Duitsland). Voor de leverancier uit h'Wike is er bij Autoneum nog onderscheid gemaakt tussen stapels tapijten waar weinig tot geen problemen mee zijn en stapels waar om de drie of vier tapijten een doorslag optreedt. Deze twee verschillende soorten worden verder onderscheiden door respectievelijk de namen h'Wike OK en h'Wike NOK. In Figuur 17 is aangeduid waar op een tapijt het sample werd genomen.



Figuur 17: Samplelocaties drie verschillende tapijten h' Wike NOK, h' Wike OK, Bor

Voor de tweede set metingen is er gekeken naar het productieproces. Wanneer de tapijten geleverd worden bij Autoneum worden deze op maat gesneden voor ieder specifiek automodel. Deze tapijten worden echter in veel grotere delen geproduceerd. Voor de specifieke tapijten van lijn 14 wordt het grote tapijt in twee verdeeld, er ontstaat dus een linker en een rechter tapijt. Om te kijken of het probleem hierdoor veroorzaakt is, is er van elke stapel één tapijt genomen en werd ook daar de dikte van gecontroleerd. Bij deze meting is het belangrijk een beeld te krijgen van de variaties van de dikte doorheen het tapijt. Om die reden zijn er meer samples genomen voor deze meting en is een opdeling gemaakt zoals in Figuur 18 weergegeven.



Figuur 18: Sample locaties linker- of rechter productiehelft

3.2.2 Beschrijving proefopstelling dikte- en gewichtsmeting

Voor de metingen van de dikte is gebruik gemaakt van de meter IDU25 van Mitutoyo, deze meet tot op 0.01 mm nauwkeurig en is in Figuur 19 afgebeeld. Deze meter is aanbevolen door de leverancier vermits zij hier ook de controles mee uitoefenen. De meter is uitgerust met meetbekken met een groot oppervlak. Op deze manier worden de haren niet te hard ingedrukt maar wordt de reële dikte van het tapijt gemeten. Eveneens wordt de meetkop met een kleine voorspanning naar beneden geduwd zodat de dunste haren van het tapijt toch geen invloed geven op de meting. Deze methode is door de leverancier voorgeschreven vermits er bij hun op dezelfde manier gecontroleerd wordt.



Figuur 19: Mitutoyo IDU25 diktemeter

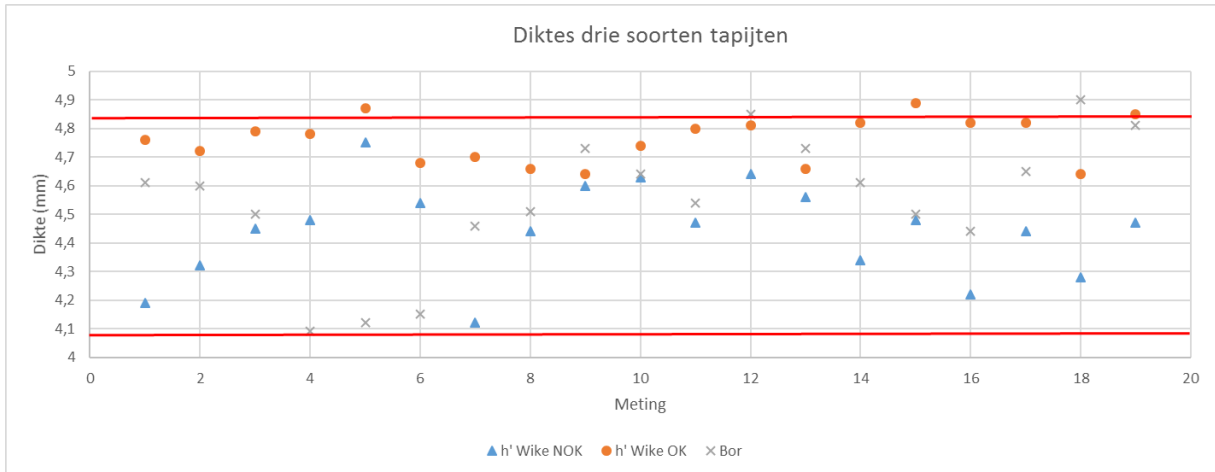
Voor de metingen van het gewicht van de samples is gebruik gemaakt van de weegschaal Mettler PM2000 te zien op Figuur 20. Deze weegschaal meet tot een nauwkeurigheid van 0.01g.



Figuur 20: Weegschaal Mettler PM2000

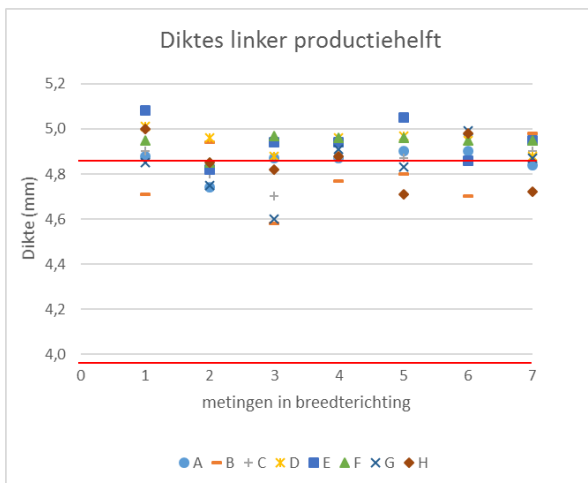
3.2.3 Resultaten dikte- en gewichtsmetingen

In Figuur 21 worden de resultaten van de diktemetingen op de drie verschillende tapijten gegeven. Vermits een tapijt een dikte van $4.4 \text{ mm} \pm 10\%$ heeft moeten deze resultaten tussen de 3.96 mm en 4.84 mm liggen [9], [10]. Op de grafieken zijn er horizontale lijnen getrokken die de grenswaardes weergeven.

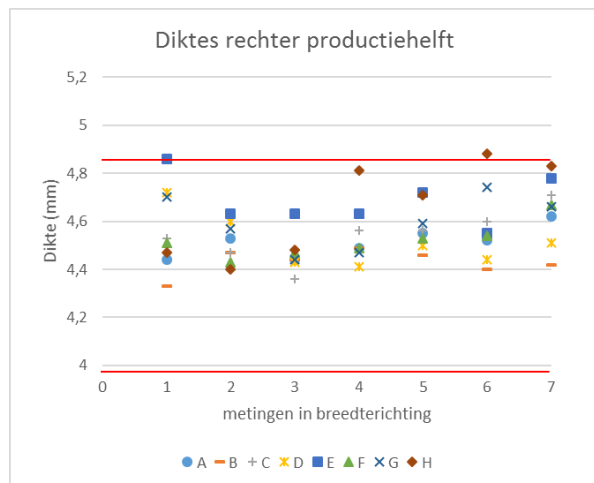


Figuur 21: Grafiek diktemetingen drie verschillende tapijten (h' Wike NOK, h' Wike OK, Bor)

In Figuur 22 en Figuur 23 zijn de resultaten weergegeven om het verschil tussen de linker en rechter productieheft duidelijk te maken.



Figuur 22: Grafiek stalen Bor linker productieheft

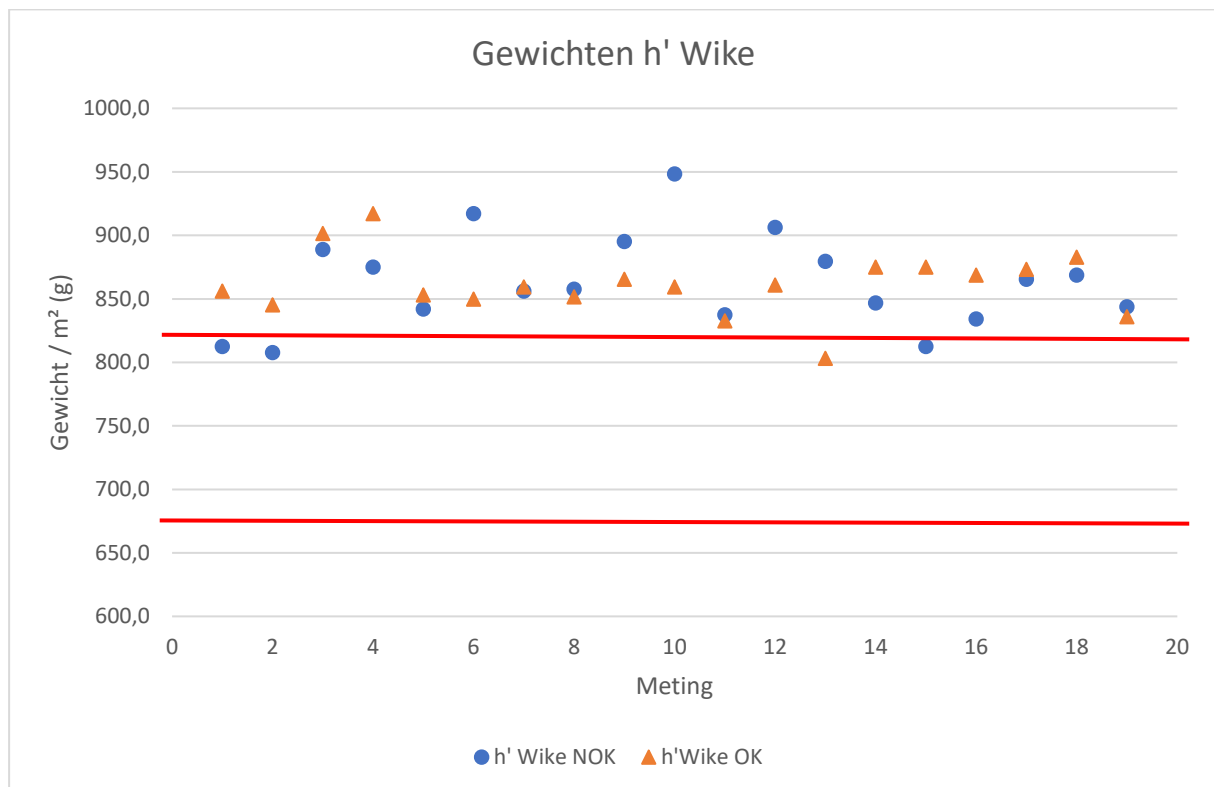


Figuur 23: Grafiek stalen Bor rechter productieheft

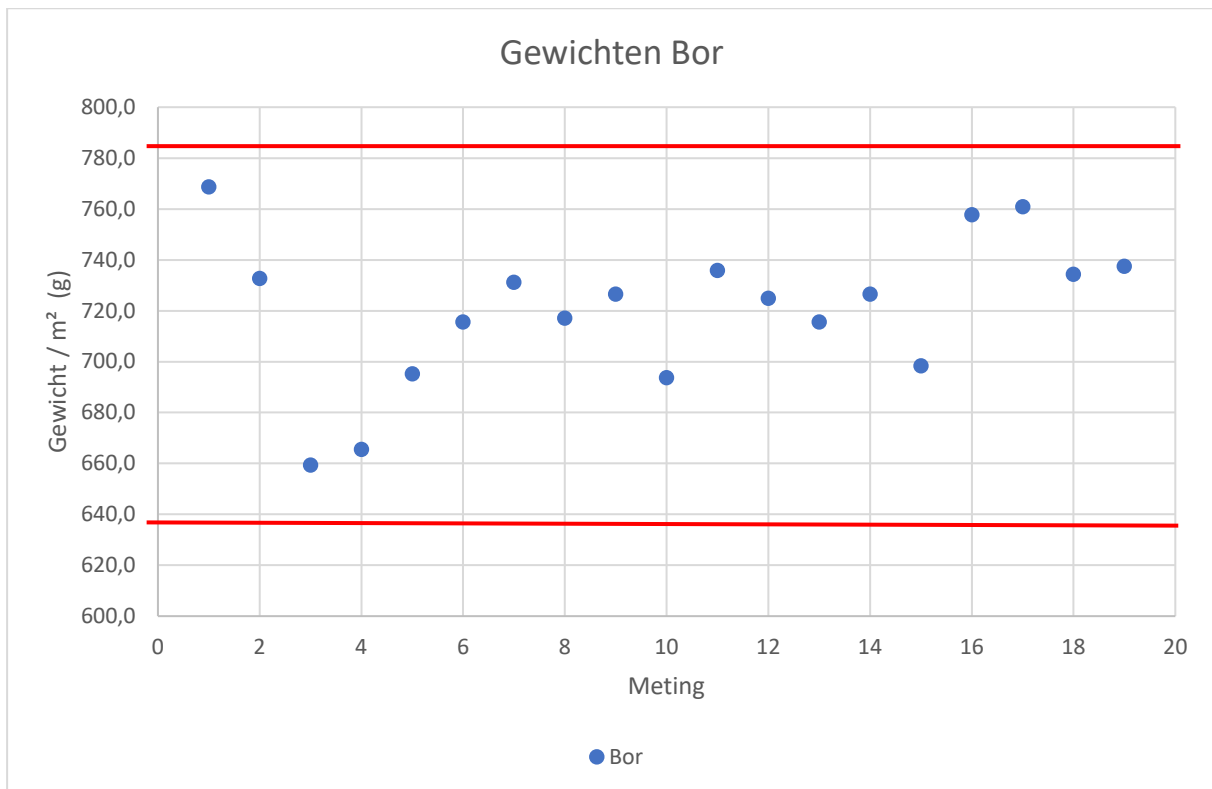
De tweede soort metingen zijn uitgevoerd op basis van het gewicht van de samples. Vermits de gewichten van de samples niet vergeleken kunnen worden met deze van de specificaties is er eerst een omrekening gebeurd naar het gewicht per vierkante meter. In Figuur 24 zijn de resultaten van de omrekening op de tapijten van h'Wike weergegeven. In Figuur 25 zijn alle resultaten op de tapijten van Bor weergegeven. Uit de specificaties van de verschillende tapijten kunnen de nominale waardes van de tapijten met hun bijhorende tolerantie gehaald worden. In Tabel 3 zijn deze genoteerd met het bijhorende minima en maxima waartussen het gewicht moet liggen.

Tabel 3: Nominaal, maximaal en minimaal gewichten drie verschillende stalen

	h' Wike NOK	h'Wike OK	Bor
Nominaal (g)	767±10%	767±10%	710±10%
Max (g)	843,7	843,7	781
Min (g)	690,3	690,3	639



Figuur 24: Grafiek gewichten OK- en NOK h' Wike



Figuur 25: Grafiek gewichten Bor

3.2.4 Bespreking resultaten dikte- en gewichtsmetingen

Uit Figuur 21 kunnen we afleiden dat de meeste metingen van de dikte van de drie verschillende tapijten binnen de tolerantie vallen. Iets wat wel opvalt is dat er verschillen zijn tot 0.81mm van de ene plaats ten opzichte van de andere plaats op hetzelfde tapijt.

In Figuur 22 en Figuur 23 zijn de diktemetingen op de twee tapijten van Bor te zien, het valt meteen op dat de resultaten van de linker productiehelft gemiddeld gezien veel hoger liggen en grotendeels buiten het tolerantie gebied. Wel zijn de fluctuaties binnen eenzelfde tapijt relatief klein. Het valt dus ook op dat bij de productie er een duidelijk verschil is tussen de linker- en de rechterzijde op basis van de dikte.

In de laatste serie metingen is er een onderscheid gemaakt tussen de stalen van Bor en h'Wike vermits er gebruik gemaakt wordt van een andere dikte van het basissubstraat waar de vezels in vast worden gezet. Om deze reden is het gewicht/m² verschillend voor deze twee producenten. In Figuur 24 en Figuur 25 is te zien dat het gewicht van Bor overall mooi binnen de tolerantie valt terwijl bij h'Wike veel metingen boven de tolerantie vallen

Het nodige vermogen om een correcte las te construeren moet hierdoor in theorie steeds lichtjes gewijzigd worden, in praktijk gaat dit niet gebeuren. Het valt wel op dat de tapijten h'Wike in het algemeen dus te zwaar zijn in vergelijking met de specificaties. Ook vertoont deze meer fluctuaties in dikte.

3.3 Praktische testen dikte variaties

Vermits uit de metingen van de diktes en het gewicht bleek dat er grote variaties zaten is er in de praktijk een extreme situatie gecreëerd om een doorslag uit te lokken. Voor deze extreme situatie hebben we op de plaats van een las het tapijt extra dun gemaakt. Met behulp van een tondeuse zijn de vezels van het tapijt korter geschoren zoals in Figuur 27 te zien. De extra vezels die beschikbaar waren door het kort scheren van het ene tapijt zijn bij een volgende las extra toegevoegd.

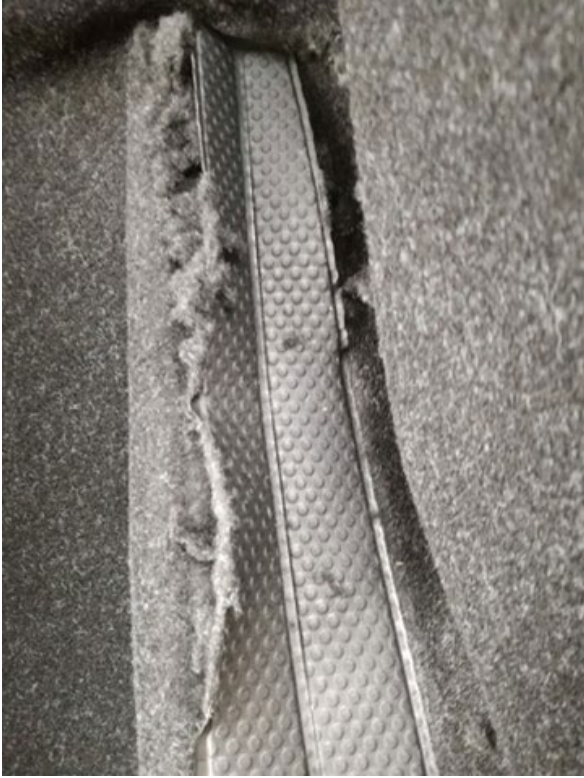
Bij het lassen met een extreem dun tapijt verkregen we een perfecte las. Deze leek gevoelsmatig warmer dan bij een normaal gelast tapijt maar nog lang niet in de buurt van de temperatuur voor ontbranding. Er zijn dan wel minder dipolen aanwezig die tot trillen gebracht kunnen worden maar er is veel meer vermogen aanwezig om dit dunnen tapijt te lassen.

Bij de las met het extra materiaal verkregen we het resultaat dat in Figuur 26 te zien is. Dit extra materiaal is aangebracht over de volledige te lassen oppervlakte als ook zeer lokaal. In beide gevallen merken we dat het vermogen gebruikt om te lassen niet voldoende was voor een goede hechting. In een volgende lassen is dit vermogen verhoogd en bleken er opnieuw een perfecte lassen te ontstaan zonder doorslag.

Deze procedure is nog 6 keer herhaald op een stapel afgekeurde tapijten², zelfs bij deze stapel was er steeds een perfecte las. Dit bewijst dus dat HF-lassen een robuust systeem is en niet sterk afhankelijk is fluctuaties in deze parameters, vermits extreem dikke en extreem dunnen tapijten getest zijn en hier geen enkele doorslag optrad. Het afscheren van de bovenste laag van het tapijt leek zelfs een positieve impact te hebben op het lasproces.

Naar aanleiding van deze metingen kan in een verder onderzoek verder gekeken worden naar de reden waarom de lassen verbeterden bij een dunner tapijt. Welke stoffen eventueel verwijderd werden door het kort te scheren of welke productie afhankelijke factor op deze manier weggewerkt werd.

² Afgekeurde tapijten: dit is een stapel waar om de één à twee lassen een doorslag optreedt



Figuur 26: Resultaat verdikt tapijt



Figuur 27: Kort geschoren tapijt

4 Verbetering van de ombouwtijden bij de vorm- en schuimpers

Om het OEE-percentage te verhogen en de productievraag te halen is er nood aan een snellere ombouw van het ene model naar het andere. Zoals in Figuur 6 aangeduid is zijn er op 11 machines tools aanwezig die gewisseld dienen te worden. Vermits Autoneum van het principe wil afstappen dat één toolwisselaar alle tools wisselt terwijl de lijnarbeiders tijdelijk geen taken uitvoeren. Door alle lijnarbeiders in te schakelen bij de toolwissel kunnen een aantal taken in parallel gebeuren. Hiervoor zijn er aanpassingen nodig aan de productielijn.

Voor een heel aantal machines zijn er al aanpassingen gebeurd door Autoneum. Voor de waterjetlasers zijn er op de twee machines reeds karren voorzien. De lijnarbeiders koppelen de tool los, nemen deze vast en trekken de tool op de kar. Het omgekeerde principe wordt toegepast om de nieuwe tool op de machine te krijgen. Bij schuimpers zijn er hydraulische klemmen aangebracht zodat niet alle schroeven steeds vast- en losgedraaid moeten worden. De tool van de nops- en bracketsmachine weegt niet veel. Hiervoor is ook een kar voorzien waar de tool op kan liggen. De tool kan opgetild worden door twee lijnarbeiders en vervangen worden. Bij de weldingmachine moeten een aantal steunbeugels vervangen worden. Deze beugels kunnen ook door één lijnarbeider vervangen worden.

Voor schuimpers 1 en 2 (op Figuur 6, Foam1 en Foam2) zijn er niet veel opties om zonder vorklift de tools te wisselen aangezien er geen ruimte meer achter of naast de machine is om een nieuwe tool offline voor te bereiden en klaar te zetten. Deze twee wisselingen moeten dus nog steeds door de toolwisselaarbeider worden uitgevoerd.

Bij schuimpers 3 en 4 is er wel nog plaats achter of naast de pers, hiervoor is een oplossing gezocht gedurende deze thesis om deze oppervlakte nuttiger te gebruiken. Ook bij de vormpers is er plaats achter de machine om aanpassingen te doen. De volgende hoofdstukken beschrijven de aanpassingen aan de vorm- en schuimpers.

4.1 Vormpers toolwisseltijdverbetering

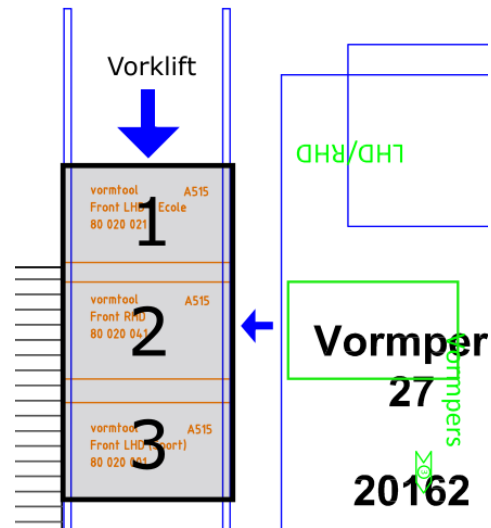
4.1.1 Schets huidige situatie vormpers

In Figuur 29 is er ingezoomd op de oppervlakte rond de vormpers van Figuur 1. De verschillende locaties waar een tool kan liggen, zijn aangeduid met drie oranje vierkanten (1, 2, 3), in het groen is de locatie van de tool in productie aangeduid. In Figuur 28 is te zien hoe de vormpers er van binnen uitziet. Een tapijt komt van op de achterkant op de foto, wordt links en rechts vastgeklemd en geplaatst tussen de twee delen van de pers. Wanneer het tapijt juist gepositioneerd is sluit de pers en wordt het tapijt gevormd. Wanneer er een ander soort tapijt geproduceerd moet worden, gaat men de twee delen (boven en onder) van de pers op elkaar leggen en vervolgens losmaken van de machine. Op dit moment kan de gebruikte tool in de transporttrolley, die in Figuur 29 is aangeduid met een dik zwart kader, gerold worden. De trolley bestaat uit een wagen op vier wielen die naar voor en achter kan bewegen zodat er kan gewisseld worden welke posities van de trolley voor de opening van de pers staat. Op het moment dat er een nieuwe tool op de trolley moet liggen kan deze alleen op positie 1 geplaatst worden dit met behulp van een vorklift zoals aangeduid in Figuur 29. Figuur 30 en Figuur 31 zijn extra foto's zodat de vorm van de trolley duidelijker wordt. De grootste

beperking momenteel is dat er onderling niet van positie gewisseld kan worden op de trolley zonder de vormpers te gebruiken. Als er bijvoorbeeld een tool die op positie 2 of 3 van de trolley staat, afgehaald moet worden, gaat eerst de tool in de vormpers geschoven worden van op deze positie. Vervolgens moet men de trolley verrijden naar positie 1 en weer er uitschuiven zodat de vorklift deze er op positie 1 af kan halen. Deze procedure heeft enige tijd nodig en wanneer dit gebeurt ligt de hele productie stil.



Figuur 28: Vormpers



Figuur 29: Lay-out lijn 14 zoom vormpers



Figuur 30: Vormpers trolley twee posities

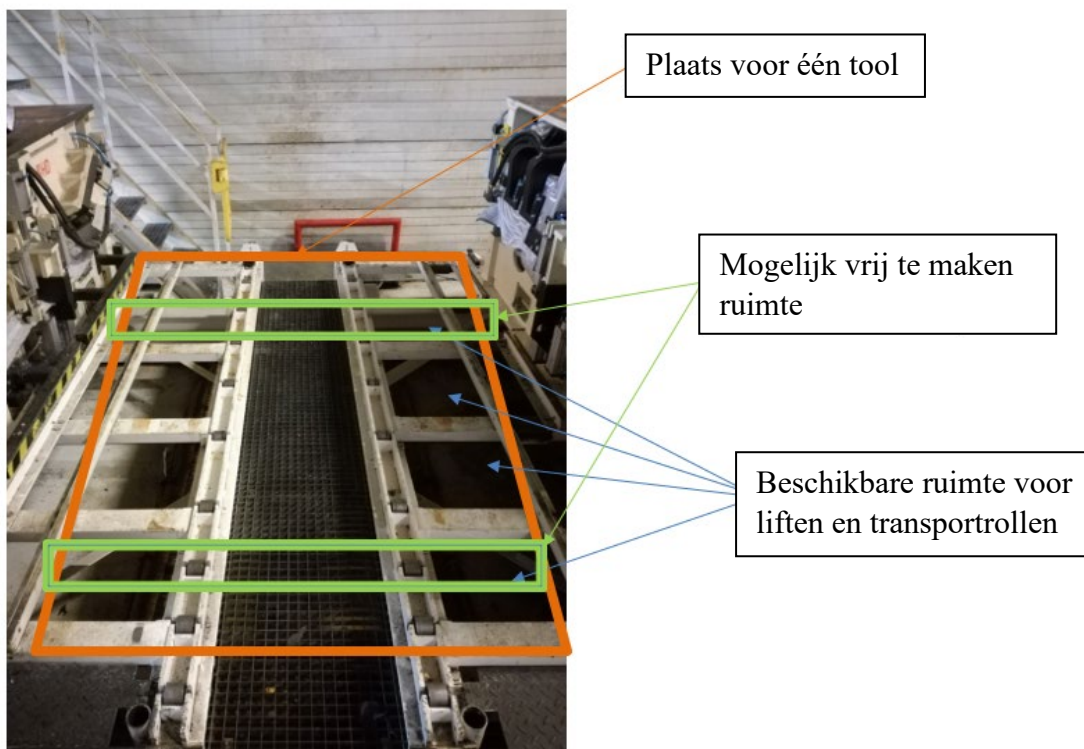


Figuur 31: Vormperstrolley en vorklift positie

4.1.2 Aanpassingen vormpers trolley

Om tot een oplossing te komen die zowel voor de productiewerker, de veiligheidsverantwoordelijke als het onderhoudsteam voldoet aan hun specifieke eisen is er samen met hun een overkoepelend eisenpakket opgesteld. Vooraleer dit eisenpakket opgesteld werd is er eerst een stappenplan gemaakt van de handelingen die allemaal moeten uitgevoerd worden om een tool te wisselen. Op basis hiervan is in deze masterproef een eisenpakket opgesteld dat in de volgende puntjes wordt samengevat om de huidige trolley aan te passen of een nieuwe te ontwerpen:

- Concrete beschrijving van de beschikbare ruimte en welk deel hiervan mag gebruikt worden voor aanpassingen. Het bovenaanzicht is in Figuur 32 te zien en het vooraanzicht in Figuur 31.
- Er moet gewerkt kunnen worden met tool van 5 ton.
- De tool moet zeker van positie kunnen wisselen tussen plaats één en twee. Tussen plaats twee en drie mag, maar is geen must.
- De tool moet opgetild worden van zijn huidige locatie op de trolley en naar de volgende gerold worden: automatisch of manueel.
- Wanneer er geen automatische oplossing is, moet de veiligheid en ergonomie van de arbeider tijdens de verplaatsing gewaarborgd blijven.
- Er moeten mechanismes voorzien worden zodat de tool niet van de trolley kan afrollen wanneer deze verplaatst of opgetild wordt. Deze mechanismes moeten minimaal 10 jaar de stoten van de tool kunnen verdragen.
- Er kan gebruik worden gemaakt van een mechanisme dat op de grond bevestigd is of een mechanisme dat op de trolley gemonteerd is.
- Er is een minimale lift van 60 mm noodzakelijk om de tool over alle obstakels te kunnen bewegen.
- De besturing van het liftstelsel moet ingebouwd worden in de huidige controller van de vormpers zodat alle aansturingen van op één positie kunnen gebeuren. Deze besturing moet zo simpel mogelijk worden gehouden zodat alle arbeiders het snel kunnen aanleren.
- Er moeten extra naderingssensoren worden aangebracht op de trolley zodat de veiligheid bij het bewegen gegarandeerd wordt, en ingebouwd worden in de sturing. Dit is momenteel niet altijd het geval.
- De huidige manier om met de vorklift de tool op de eerste positie te plaatsen mag niet verstoord worden.
- Er moet voldaan worden aan de standaarden van Autoneum op gebied van onderhoud, energie besparing, geluid, voorkeursmerken,...
- Het gehele project moet binnen het vooropgestelde budget passen dat voorzien is voor alle aanpassingen.



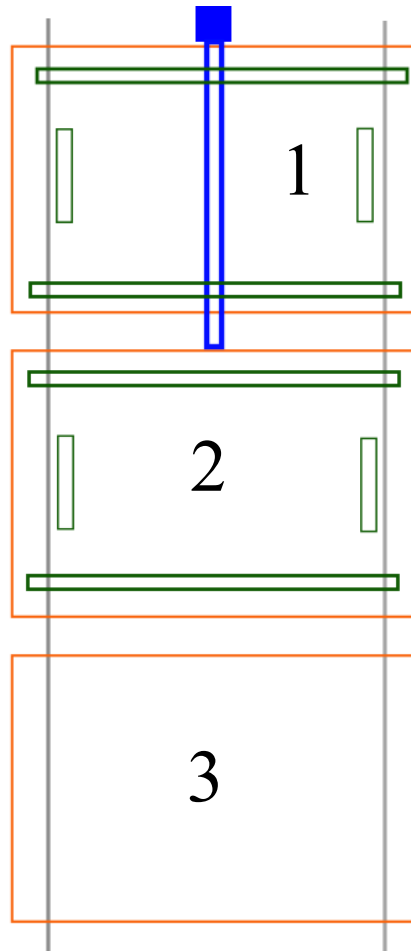
Figuur 32: Vormpers trolley beschikbare ruimte

4.1.3 Nieuw systeem vormpers trolley

Samen met promotor Tom Smolders zijn er prijzen aangevraagd bij drie leveranciers van systemen die interessant konden zijn. Op basis van de specificaties en de nodige extra uitleg zijn er door verschillende leveranciers offertes opgesteld. De verschillende offertes zijn overlopen in samenspraak met mijn promotor, en waar nodig aanpassingen gevraagd bij de leverancier. Vervolgens zijn deze aangepaste offertes op bestuursvergaderingen besproken waar uiteindelijk gekozen is voor het systeem van Serapid dat de compleetste oplossing voorstelde tegen de scherpste prijs. Serapid is gespecialiseerd in het verplaatsen en optillen van grotere objecten in de industrie. De covid-19 epidemie heeft de verdere realisatie van dit project echter stilgelegd waardoor dit niet meer kon geïmplementeerd worden in de looptijd van de masterthesis.

Serapid heeft een oplossing geboden om tussen de eerste en de tweede positie op de trolley verplaatsingen mogelijk te maken. De laatste positie blijft dus ongewijzigd. De huidige transportrollen zouden vervangen worden door bolgeleidingen. Op deze manier is een verplaatsing in twee richtingen mogelijk (voor-achter, links-rechts) in Figuur 33 aangeduid met lange groene rechthoeken. Er worden nog extra beweegbare rol geleidingen geplaatst om een egaal transportvlak te creëren wanneer er van positie op de trolley gewisseld wordt. Deze extra geleidingen vallen in het loop-vlak en moeten dus verwijderd kunnen worden wanneer men een tool in de pers duwt. Deze zijn in Figuur 33 aangeduid met de kleine groene rechthoeken.

Met behulp van een pneumatische 60 PSR rollbeam kan de tool tussen positie één en twee wisselen op de trolley. Zo een rollbeam maakt gebruik van een soort ketting die op en af rolt welke de tool verplaatst. Hier komt dus geen menselijke kracht aan te pas. Alle extra benodigdheden om het pneumatische systeem te laten werken worden eveneens voorzien door Serapid. Alle bekabeling wordt door de kabelrups aan de zijkant van de trolley gelegd.

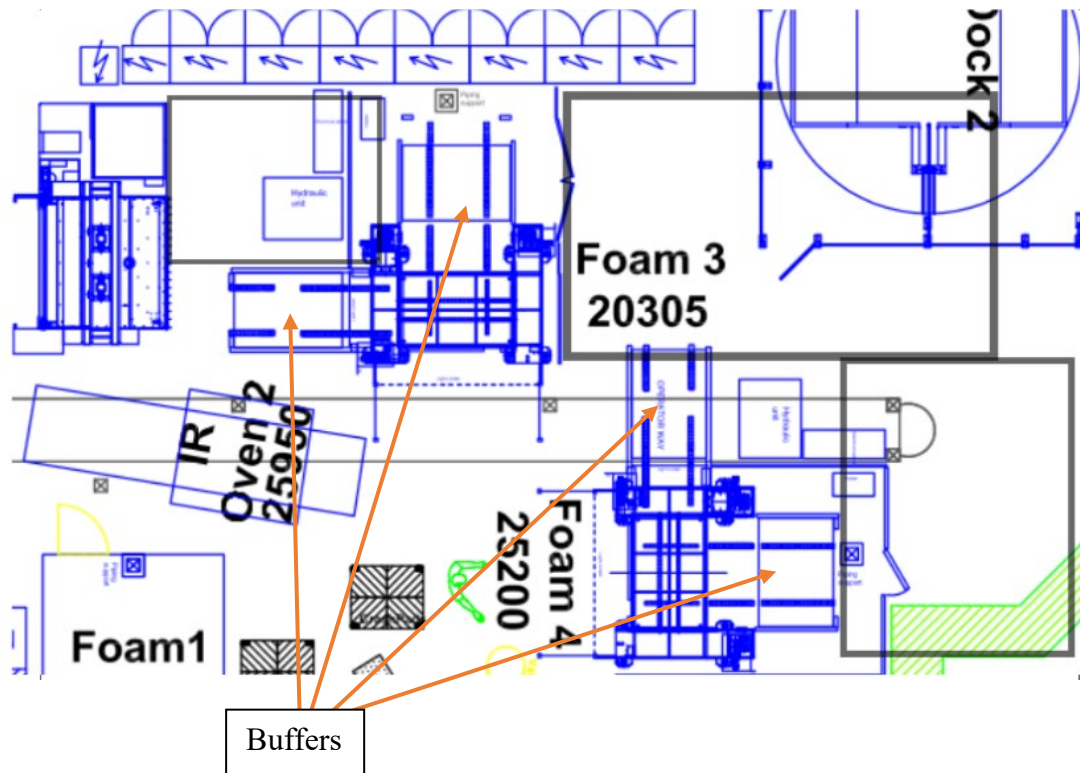


Figuur 33: Oplossing Serapid vormpers

4.2 Schuimpers toolwisseltijdverbetering

4.2.1 Schets huidige situatie schuimpers

Schuimpers drie en vier zijn exact dezelfde op het gebied van hun werking, enkel de toolbuffer is anders. Eveneens zijn ze 90° gedraaid ten opzichten van elkaar. Hun opstelling en buffer zijn duidelijk te zien in Figuur 35 aangeduid met foam 3 en foam 4. Op deze figuur is ook aangeduid waar er nog ruimte vrij kan gemaakt worden, hierover wordt meer verteld in de volgende paragraaf. In Figuur 37 is te zien hoe de schuimpers in geopende toestand eruit ziet. De twee delen van de tool zijn los van elkaar. Op dit moment kan een tapijt dat geschuimd is vervangen worden door een nieuw tapijt. Vervolgens gaat de pers weer sluiten en wordt er een laag schuim aan de onderkant van het tapijt gespoten. Wanneer er overgeschakeld wordt naar een nieuw type moet de tool gesloten en losgekoppeld worden van de pers. Op dit moment ziet de pers er uit zoals op Figuur 36. De tool kan nu naar links, de ruimte waar de meest gebruikte tool ligt, of naar achteren geschoven worden, waar deze tool afgenomen kan worden met de vorklift. Enkel wanneer de oude tool weggenomen is kan er een nieuwe tool klaargelegd worden met behulp van een vorklift. Net zoals bij de vormpers is het bij de schuimpers eveneens de bedoeling dat lijnarbeiders de oude tool kunnen vervangen door een nieuwe zonder tijdens de omvorming gebruik te maken van een vorklift. Figuur 34 verduidelijkt nog hoe de buffer waar een tool vervangen kan worden er uit ziet.



Figuur 35: Lay-out lijn 14 zoom schuimpersen



Figuur 34: Schuimpers vervangbare buffer gesloten hek



Figuur 37: Schuimpers geopende toestand



Figuur 36: Schuimpers gesloten toestand achteraanzicht

4.2.2 Aanpassingen schuimpers

Voor de aanpassingen bij de schuimpers is er op dezelfde manier tewerk gegaan als bij de vormpers. Er is een lijst met specificaties opgesteld, waaraan de leverancier moet voldoen. De randobstakels die verplaatst moeten worden werden in kaart gebracht zodat er meer ruimte rondom de pers wordt gecreëerd.

Tussen de elektrische kasten en schuimpers 3 staan een aantal obstakels die verplaatst kunnen worden zoals te zien op Figuur 39. Zo staat er een klein drukvat met een flexibele darm verbonden aan de HF-lasser. Vervolgens staat er ook een voorverwarmer om de tool in de buffer te verwarmen zodat deze sneller terug gebruikt kan worden. Tenslotte is er de hydraulische groep van de schuimpers. Dock 2, een buffer voor de heavy layer van het vormproces wordt niet meer gebruikt omdat er overgeschakeld is van twee dunne naar één dikke laag heavy layer. Op Figuur 38 is dock 2 weergegeven, deze kan dus verwijderd worden. Het laatste obstakel dat nog verwijderd kan worden zijn vloeistofvaten die rond schuimpers 4 staan.

Het samengevatte eisenpakket van de schuimpers ziet er als volgt uit:

- Concrete beschrijving van de beschikbare ruimte en welke vrij kan gemaakt worden.
- Een oplossing bieden voor de machines die verplaatst dienen te worden.
- Tools tot 3 ton moeten verplaatst kunnen worden.
- De verplaatsing dient manueel of automatisch te gebeuren.

- Zowel bij een automatisch als manueel systeem moet de veiligheid van de arbeider gegarandeerd blijven.
- Manuele verplaatsingen dienen zonder obstakels en ergonomisch uitgevoerd te kunnen worden.
- Er moeten maatregelen genomen worden zodat de tool nooit van de buffer af kan rollen en deze op de juiste locatie tot stilstand kan gebracht worden.
- Een tool moet door lijnarbeiders verwijderd uit de machine en verplaatst op de buffer kunnen worden en eveneens moet de nieuwe tool in de machine gerold kunnen worden van op de buffer zonder gebruik te maken van een vorklift.
- Het moet mogelijk zijn om tools op de buffer te plaatsen en er van af te halen terwijl de productie bezig is, zonder dit proces te onderbreken.
- Er moet voldaan worden aan de standaards van Autoneum op gebied van onderhoud, energie besparing, geluid, voorkeursmerken,...
- Het gehele project moet binnen het vooropgestelde budget passen dat voorzien is voor alle aanpassingen.



Figuur 39: Obstakels schuimpers 3



Figuur 38: Lijn 14 dock 2

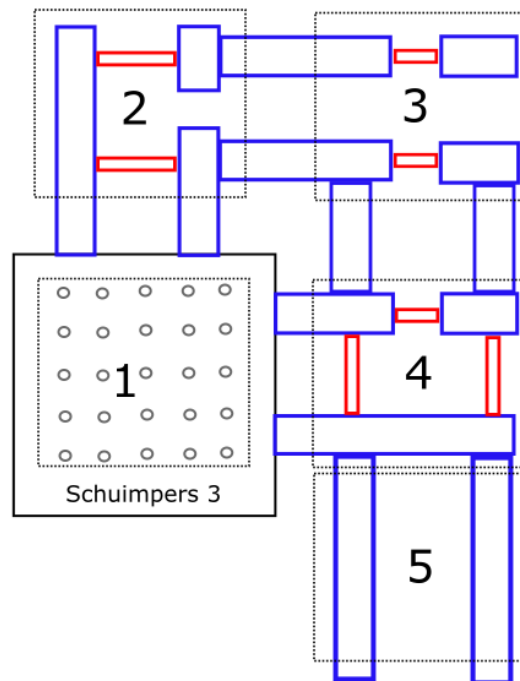
4.2.3 Nieuw systeem schuimpers

Om er voor te zorgen dat schuimpersen aan de nodige vereisten voldoen is de beste oplossing ook tot stand gekomen met Serapid.

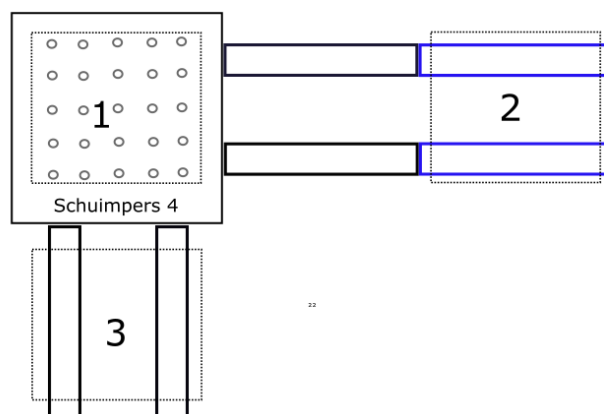
Voor pers 3 gaat er een lus 1→2→3→4→5 zoals op Figuur 40 is aangeduid gecreëerd worden waardoor de tool kan bewegen. Er wordt gebruik gemaakt van rechte geleidingsrollen op de recht stukken en van bolgeleidingen in de hoeken zodat daar een verplaatsing in twee richtingen mogelijk is. Al de verplaatsingen dienen manueel uitgevoerd te worden, hiervoor is er steeds een wandelgang voorzien waar de arbeiders zich kunnen verplaatsen. Vermits er door de gang op sommige momenten een grote opening is waar de tool over moet bewegen, zijn er nog extra uitklapbare geleidingsarmen voorzien zodat dit kantelgevaar weggewerkt

wordt. Deze zijn in het rood aangeduid op Figuur 40. Als deze aanpassingen gebeurd zijn is het mogelijk om de volgende tool klaar te zetten op positie 5. Wanneer dan gewisseld wordt, kan de oude tool naar positie 2 geduwd worden en langs positie 4 kan de nieuwe tool meteen naar binnen geduwd worden. De productie kan gestart worden zonder de gebruikte tool al te verwijderen van positie 2, dit kan offline gebeuren. Om dit veilig te laten verlopen en het proces niet te onderbreken zal het hekwerk, dat nu aanwezig is, aangepast worden en zal er een nieuwe beveiliging vlak achter de pers bijgeplaatst moeten worden tussen positie 1 en 4. Tot slot gaat er ook nog een bordes gezet worden waar de hydraulische groep en de voorverwarming op geplaatst kunnen worden. Dit bordes en een extra veiligheidsdeur worden geplaatst door Werkhuisen Hengelhoef.

Voor schuimpers 4 zijn er geen grote aanpassingen nodig. Door het langer maken van de buffer waar de hoogloper momenteel op staat, kan deze gebruikt worden als afneempunt van de oude tool (positie 2) en kan de nieuwe tool klaargezet worden in de aanwezige buffer (positie 3). Hier moet enkel een extra rollenbaan geplaatst worden en een aanpassing gebeuren van de locatie van het veiligheidsscherm. Deze uitbreiding is te zien in Figuur 41.



Figuur 40: Schuimpers 3 nieuw systeem



Figuur 41: Schuimpers 4 nieuw systeem

5 Overall equipment efficiency vergelijking

Om een concreet beeld te geven van de evolutie van de lijn, gedurende de looptijd van deze thesis is er een vergelijking gemaakt tussen de situatie bij aanvang en bij afronding. Er is in de twee gevallen gekeken naar de productie van 15 schiften, wat overeenkomt met één werkweek. Dit zijn twee gemiddelde weken in de begin- en eind-periode.

De vergelijking is gemaakt op basis van het percentage OEE. De OEE wordt onderverdeeld in drie categorieën die vervolgens met elkaar worden vermenigvuldigd.

De eerste categorie is de beschikbaarheid, hier is berekend hoeveel productietijd er benut is in verhouding met de geplande productietijd. Bij autonoom worden geplande stoppen voor onderhoud, experimenten of een volle buffer niet meegerekend als verlies.

De tweede categorie wordt berekend op basis van de prestaties van de arbeiders. Hier wordt de verhouding genomen tussen de tijd die effectief nodig is en de theoretische tijd nodig om één product te verwezenlijken.

De laatste categorie is het aantal goede afgewerkte onderdelen gedeeld door het totaal aantal onderdelen.

5.1 Situatie bij aanvang

De startsituatie is gekozen van 06/10/2019 22:00 tot en met 11/10/2019 21:59. In deze perioden zitten 7200 minuten waarvan er 5993 minuten ingepland worden voor productie. Dit grote verschil is te wijten aan het feit dat er bij twee volledige posten niet geproduceerd werd. Autonoom beschikt over het systeem Objective dat de gehele productie logt en beschikbaar maakt voor dataverwerking. Er wordt onder andere bijgehouden wat de planning, feitelijke productietijd, korte stoptijden en wat per product de productietijd is. Uit dit systeem kunnen dus twee van de drie onderdelen van de OEE bepaald worden. De hoeveelheid afval wordt met de hand bijgehouden en is opgevraagd bij de bevoegde persoon.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn in de eerste rij de resultaten van de beschikbare tijd, verloren tijd, mogelijke aantal geproduceerde stuks, effectief aantal geproduceerde stuks, de productiviteit, de hoeveelheid afval en het totaal percentage OEE geplaatst.

5.2 Situatie na implementatie

De situatie op het einde van de thesis is gekozen net voor het uit breken van de covid19-crisis vermits de productie fors gedaald en aangepast is na deze periode. De gekozen datum is van 23/02/2020 22:00 tot en met 28/02/2020 21:59. Gedurende deze periode ligt de geplande productietijd op 6142 minuten. In deze twee weken zitten er ook twee posten waar niet geproduceerd wordt. In de tweede rij van Tabel 4 zijn de resultaten aan het einde geplaatst.

Tabel 4: OEE vergelijking voor en na implementatie

	Beschikbare tijd	Verloren tijd	Mogelijke productie	Effectieve productie	Productiviteit	Scrap welding	OEE totaal
Voor implementatie	5993 min	1218 min	4399 stuks	3122 stuks	71,0%	37 stuks	62,6%
Na implementatie	6142 min	838 min	4807 stuks	3863 stuks	80,4%	8 stuks	74,9%

5.3 Vergelijking

Wanneer we nu de resultaten uit Tabel 4 van het begin gaan vergelijken met het einde valt direct op dat de productiviteit na implementatie bijna 10% hoger ligt. Ook het aantal minuten verloren tijd ligt 380 minuten lager. Deze twee factoren kunnen verklaard worden doordat het aantal fouten bij het lassen fors gedaald is. Hierdoor blijven de buffers doorheen de hele productielijn steeds gevuld en blijven de arbeiders vlot door werken en liggen ze minder stil. Wanneer er een foute las ontstaat worden de buffers niet meer gevuld en gaan de mensen trager werken. Dit grote verschil is ook rechtstreeks zichtbaar in het totaal percentage OEE wat van 62,6% naar 74,9% verbeterd is. De 838 minuten verloren tijd blijven hoog liggen vermits de pauzes (40min/post) van de arbeiders hier meegeteld zijn.

6 Conclusie

Uit deze masterproef kunnen een aantal conclusies getrokken worden om een gepast antwoord te geven op de gestelde onderzoeksvraag. Hoe kan de overall equipment effectiveness van Lijn 14 verbeterd worden t.o.v. de huidige situatie. Meer specifiek over het verminderen van het doorslag probleem en een efficiëntere toolwissel.

Om te achterhalen wat de oorzaak is van het doorslag probleem is er verder gewerkt op voorgaand onderzoek. In het verleden werden reeds verschillende productieparameters getest. Deze masterproef test twee bijkomende parameters of deze het lasprobleem kunnen veroorzaken. Testen op de aanwezigheid van statische elektriciteit zijn negatief gebleken. Er is geen significant verschil in statische elektriciteit te zien tussen de tapijten met en zonder doorslag. Een tweede set testen is gedaan op de dikte en het gewicht van de tapijten. Gedurende deze masterproef is er gewisseld van leverancier van tapijten, er is naar een verschil tussen de tapijten gezocht vermits het aantal doorslagen al fors gedaald is door deze verandering. Bepaalde tapijten liggen buiten de dikte en gewichten tolerantie maar na lasprocessen met extreem dikke en dunne tapijten ontstond er geen doorslag. Bij afgekeurde tapijten die kort geschoren werden is er zelfs een verbetering in het aantal doorslagen waargenomen. Dit kan er op wijzen dat de fout weggenomen is door het kort scheren wat interessant is voor verder onderzoek. Een Concrete oorzaak is dus nog niet gevonden maar er konden wel weer een aantal factoren worden uitgesloten worden welke niet de aanleiding geven tot doorslag.

Om de toolwissels sneller te laten verlopen is er verder gewerkt op reeds uitgevoerde aanpassingen. Er is een oplossing uitgewerkt om de vormpers en twee schuimpersen voldoende offline aan toolwisseling te laten uitvoeren. Op deze manier vallen deze twee machines van de lijn binnen de vooropgestelde tijd. De leveranciers voor de systemen zijn gekozen. Door de coronacrisis is de implementatie echter tijdelijk opgeschort zodat deze niet meer in deze masterproef konden gerealiseerd worden. De gehele aanpassingen vallen binnen het vooropgestelde budget en voldoen aan het opgestelde eisenpakket.

Door de daling in doorslagen vanwege het veranderen van leverancier is het percentage OEE in een gemiddelde week al van 62.6% gestegen tot 74,9 %. Dit ligt boven het vooropgestelde doel van 72%. Wanneer de toolwissel verbeteringen geïmplementeerd worden gaat de verloren ombouwtijd nog verder dalen en het percentage ingeplande productietijd stijgen.

Referentielijst

- [1] Autoneum, "Hoofdpagina," 2019. [Online]. Available: <https://www.autoneum.com/company/>. [Accessed: 12-Oct-2019].
- [2] Z. Yang, H. Peng, W. Wang, and T. Liu, "Crystallization behavior of poly(ϵ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 116, no. 5, pp. 2658–2667, 2010.
- [3] Shirmacher, "HF-Tapijt-Lasmachine TSM-EX Bedieningshandleiding mechanisch," no. August. 2008.
- [4] S. Arungalai Vendan, T. Chinnadurai, K. Senthil Kumar, and N. Prakash, "Investigations on mechanical and structural aspects of ultrasonic hybrid polymer mixture welding for industrial applications," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 93, no. 1–4, pp. 89–102, 2017.
- [5] W. H. Kearns, "High Frequency Welding," *Weld. Handb.*, pp. 145–167, 1980.
- [6] B. Franciso , harry, W. Doris Drive, J. Riegert, ronald, and N. Hlios court, "WO1998025755A1.pdf," 1998.
- [7] B. Jeon, M. Y. Song, H. J. Kim, and J. Y. Lee, "Synthesis and nonlinear optical properties of a novel X-type polyester containing dicyanovinylnitroresorcinoxy groups with enhanced thermal stability of dipole alignment," *Polym. Int.*, vol. 62, no. 12, pp. 1729–1734, 2013.
- [8] A. Bvba, "Athex bvba products," 2018. [Online]. Available: <https://athex.be/en/products/ionizing/measuring-devices/715-static-meter>. [Accessed: 14-Apr-2020].
- [9] Autoneum, "N ° Spec028776 Heckmondwike Charcoal," 2017.
- [10] Autoneum, "N ° Spec050343 Bor Charcoal," 2019.