

2017 • 2018
Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Optimalisatie van een bestaande proceslijn d.m.v. een debottlenecking op meerdere graden

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Michael DAENEN

PROMOTOR :

ir. Marc COLLEN

ir. Yves BECKERS

Nick Costantino

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

De transnationale Universiteit Limburg is een uniek samenwerkingsverband van twee universiteiten in twee landen: de Universiteit Hasselt en Maastricht University.



Universiteit Hasselt | Campus Diepenbeek | Agoralaan Gebouw D | BE-3590 Diepenbeek
Universiteit Hasselt | Campus Hasselt | Martelarenlaan 42 | BE-3500 Hasselt



2017 • 2018

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Optimalisatie van een bestaande proceslijn d.m.v. een
debottlenecking op meerdere graden

PROMOTOR :

Prof. dr. ir. Michael DAENEN

PROMOTOR :

ir. Marc COLLEN

ir. Yves BECKERS

Nick Costantino

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



Woord vooraf

In de gezamenlijke opleiding Industriële Ingenieurswetenschappen aan de Universiteit Hasselt en KU Leuven worden ingenieursstudenten vaak opgeleid met het oog op ontwikkeling en ontwerp van oplossingen voor bestaande problemen. Deze masterproef stelt een probleem op bij een proceslijn die reeds ontworpen en geïnstalleerd is door voorgaande ingenieurs. Dit geeft de student de mogelijkheid om niet alleen zijn eigen vergaarde kennis te implementeren bij het uitdenken van oplossingen, maar ook de denkwijze van andere ingenieurs te traceren bij het doorgronden van het bestaand proces.

Tijdens het project heb ik op deze manier veel kennis en methodes bijgeleerd die in de les niet onmiddellijk ter sprake komen, maar in de praktijk wel vaak toegepast worden. Ook reglementeringen omtrent het inzetten van manuele arbeid horen hierbij.

Ik wil graag mijn dank betuigen aan docenten, promotoren, begeleiders en ondersteunende medewerkers voor hun hulp bij de realisatie van deze masterproef:

- Prof. Dr. Ir. Michaël Daenen (U Hasselt – KU Leuven)
- Ir. Marc M. Collen (DAF Trucks Westerlo)
- Ir. Yves Beckers (DAF Trucks Westerlo)
- Ing. Marc Smeets (DAF Trucks Westerlo)
- Ing. Joris Beuls (DAF Trucks Westerlo)
- Chris Jacops (ABB Robotics)
- Andy Vannuffel (Engie – Fabricom)
- Werkmeesters, operatoren en medewerkers van de assenlakstraat bij DAF Trucks Westerlo

Nick Costantino
Master Industrieel Ingenieurs Elektromechanica
Universiteit Hasselt – KU Leuven

Inhoud

Woord vooraf	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	7
Verklarende woordenlijst	9
Abstract	11
Abstract in English	13
1. Inleiding.....	15
2. Voorstudie	17
2.1. Proceslijn	17
2.2. Kwaliteit van de lak.....	19
2.3. Capaciteitsmetingen	20
3. Metingen.....	23
3.1. Globale verwerkingsmetingen.....	23
3.2. Meting van individuele procesonderdelen.....	24
3.2.1. Spuitcabine	24
3.2.2. Voorbehandeling	26
3.3. Conclusie uit de metingen	27
4. Optimalisatie	29
4.1. Spuitcabine	29
4.1.1. Optie 1: Aanpassen van de programmastructuur.....	29
4.1.2. Optie 2: Aanpassing van de infrastructuur	35
4.2. Voorbehandeling	36
4.2.1. Optie 1: Elimineren van dode tijden door veranderingen in de PLC-sturing	36
4.2.2. Optie 2: Verkorten van de sproeitijd	38
5. Implementatie	39
5.1. Oplossen van herhaaldelijke storingen	39
5.2. Spuitcabine	40
5.3. Voorbehandeling	40
5.4. Globale simulatie.....	40
6. Conclusie.....	41
Literatuurlijst.....	43
Bijlagen	45

Lijst van tabellen

Tabel 1: Capaciteitsmeting van individuele processtappen uit 2009 [1].....	20
Tabel 2: Maximale cyclustijden en frequentie van elk onderverdelingstype	25
Tabel 3: Taktijd per type bij variërende kettingsnelheden	25
Tabel 4: Technische tijden voorbehandeling.....	26
Tabel 5: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine onder de huidige situatie	29
Tabel 6: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 1 van de optimalisatie	30
Tabel 7: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 2 van de optimalisatie	31
Tabel 8: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 3 van de optimalisatie	32
Tabel 9: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 4 van de optimalisatie	33

Lijst van figuren

Figuur 1: DAF Plant te Westerlo, met bovenaan de cabinefabriek en onderaan de assenfabriek [2] ...	15
Figuur 2: Schematische voorstelling assenlakstraat	18
Figuur 3: Dagelijkse productie per shift in september, vergeleken met de effectieve werktijd	23
Figuur 4: Lay-out van de spuitcabine	35
Figuur 5: Schematische processtructuur van de voorbehandeling in de huidige situatie	36
Figuur 6: Schematische processtructuur van de voorbehandeling na optimalisatie	37
Figuur 7: Dagelijkse productie van assen per shift in december 2017	39

Verklarende woordenlijst

Bottleneck	Processtap die de maximale verwerking bepaalt van een productie- of verwerkingslijn
Debottlenecking	Het proces van identificeren van processtappen die de doorstroming van producten limiteert, en deze stappen optimaliseren zodat de globale verwerking verhoogd kan worden
FIFO-principe	First In, First Out. Het eerste object dat een zone binnengaat, zal ook het eerste object zijn dat deze zone verlaat
Juk	Montagestructuur die aangrijpt in een sleuf met uitsparingen in de loopwagen en zorgt voor een klemmende aangrijping op de wielbouten van de as.
Nozzle	Spuitmond van de lakrobot

Abstract

In haar montagefabriek te Westerlo fabriceert DAF Trucks NV cabines en assen voor vrachtwagens. In de assenfabriek voorziet een lakstraat de assen van een primer. Deze lakstraat vormt met een gemiddelde verwerking van 520 assen per dag de vertragende stap van het fabricageproces. Deze verwerking gebeurt over drie shiften van 8 uur.

Het doel van deze masterproef bestaat uit het verhogen van de output tot 590 assen over slechts twee shiften van 8 uur. Hierbij moet de huidige opstelling waar mogelijk gerecupereerd worden. Invasieve veranderingen aan de infrastructuur zijn enkel toegelaten indien noodzakelijk. Daarnaast moeten ook de pauzes van de werknemers waar mogelijk gewaarborgd blijven. Ook de kwaliteit van de lak moet gewaarborgd blijven.

Door het toepassen van *debottlenecking* technieken, waaronder metingen en stresstesten, worden de vertragende procesonderdelen geïdentificeerd en bijgestuurd. Wanneer manuele handelingen buiten beschouwing worden gelaten, bekomen we een potentiële taktijd van 75 seconden per as en een dagelijkse capaciteit van 672 assen per dag. De bijsturing gebeurt op twee procesonderdelen, namelijk de spuitcabine en de voorbehandelingsbaden. De spuitcabine vormt de zwaarste bottleneck, maar uit testen blijkt dat bijsturing op het niveau van software niet mogelijk is. De cabine wordt beheerd door een externe firma en dit onderzoek wijst er ook op dat deze best vervangen wordt. Uit een theoretische studie blijkt dat bijsturing van de voorbehandelingsbaden dode tijden in het proces reduceert d.m.v. aanpassing in de PLC-sturing en de ingestelde taktijden.

Abstract in English

In the assembly plant in Westerlo (B), DAF Trucks NV manufactures cabs and axles for commercial trucks. In the axle plant, a paint shop provides outgoing axles with a primer. This paint shop forms the bottleneck of the manufacturing process, processing an average of 520 axles per day over three shifts.

The goal of this master thesis is to increase the output of the paint shop to 590 axles over two shifts instead of three. The current setup must be recovered where possible. Invasive changes to the infrastructure are only allowed when absolutely necessary. In addition, employee breaks must be safeguarded wherever possible. Also the quality of the paint must be guaranteed.

By applying debottlenecking techniques, e.g. measurements and stress tests, the delaying process elements are identified and adjusted. After this a cycle time of 75 seconds and a daily production 672 axles is possible, manual stations are not taken into consideration. Adjustment is applied on two stations in the line, the paint shop and the cleaning cabins. The paint shop forms the current first degree bottleneck, however after testing, optimization does not seem possible without invasive changes. This part of the line is maintained by an external party and the infrastructure will be replaced in 2019. A theoretical simulation shows that optimization in the cleaning cabins will reduce lost times in the process by changes in the PLC-programs and preset parameters.

1. Inleiding

DAF Trucks is een dochteronderneming van het Amerikaanse PACCAR Inc. Met haar kernactiviteiten concentreert DAF zich op de ontwikkeling, productie, marketing, verkoop en service van middelzware en zware bedrijfswagens [1]. Figuur 1 beeldt de montagefabriek te Westerlo af, waar cabines en assen worden gefabriceerd die in Eindhoven gemonteerd zullen worden op een chassis en aandrijflijn. In de assenfabriek zorgen twee productielijnen voor de fabricage van voor- en achterassen. Voordat een heftruck deze assen op een vrachtwagen plaatst voor transport, passeren de assen door een lakstraat die deze voorziet van een primer. Deze primer beschermt de assen tegen corrosie tijdens het transport en vergemakkelijkt het lakproces bij de montage in Eindhoven.

De lakstraat limiteert in de huidige situatie de dagelijkse productie van assen over de gehele assenfabriek. Omdat elke as van een primer voorzien moet worden en er geen ruimte is voor buffering, kunnen er niet meer assen per dag geproduceerd worden dan de capaciteit van de lakstraat. In de huidige situatie verwerkt de lakstraat gemiddeld 520 assen per dag over drie shiften. Naar de toekomst toe stelt DAF als doel 590 assen te kunnen verwerken over twee shiften, namelijk de vroege en de late dagshift.



Figuur 1: DAF Plant te Westerlo, met bovenaan de cabinefabriek en onderaan de assenfabriek [2]

Het doel van deze masterproef bestaat uit het verhogen van de output van de lakstraat naar 590 assen per dag door enkel gebruik te maken van vroege en late dagshift. Hierbij moet de huidige infrastructuur waar mogelijk gerecupereerd worden alvorens na te denken over invasieve veranderingen. Daarnaast moeten de pauzes van de werknemers en operatoren gewaarborgd blijven. Dit resulteert in een effectieve werktijd van 7 uur per shift, of indien nodig 7,5 uur per shift waarbij de pauzes van de werknemers en operatoren verkort worden. Dit is echter alleen toegestaan in uitzonderlijke gevallen. Dit levert een norm voor de maximale taktijd per as van 85,4 seconden, of 91,5 seconden wanneer gebruik gemaakt wordt van kortere pauzes.

Om dit te realiseren wordt gebruik gemaakt van debottlenecking technieken, waaronder capaciteitsmetingen van individuele processtappen en stresstesten. Eerst en vooral worden de huidige settingsparameters vergeleken met de ontwerpspecificaties van de proceslijn om te bekijken of bijsturen van deze parameters reeds verbeteringen kan opbrengen in de verwerking. Hierbij draait het dan vooral rond observatie van de globale proceslijn en punten identificeren waar assen zich opstapelen. Met bijstand van onderzoekers wordt dan bekeken of procestijden in deze onderdelen vermindert kunnen worden om zo de opstapeling van assen te verminderen en een vlottere doorstroming te verkrijgen.

Vervolgens worden herhaaldelijke storingen geanalyseerd en bijgestuurd om op die manier stilstandtijden te verminderen. Deze storingen worden opgespoord aan de hand van metingen en berekeningen met behulp van de logging in het systeem met betrekking tot globale verwerkingsmetingen en storingsrapporten opgesteld door operatoren en ingenieurs. Aan de hand van deze rapporten worden mogelijke oorzaken van de stilstanden geanalyseerd en waar mogelijk geëlimineerd. Indien wegwerken van de oorzaak niet mogelijk is, wordt een oplossing ontworpen om de oorzaak te omzeilen. Omdat mogelijk de storingen geen directe invloed hebben op de globale doorstroming van de proceslijn, wordt niet na elke aanpassing een volledige evaluatie opgesteld. De hele proceslijn zal pas geëvalueerd worden als in theorie de norm behaald wordt, die de maximale taktijd oplegt.

Ten derde worden individuele processtappen gemeten en geanalyseerd om zo de bottlenecks in het systeem te identificeren. Hierbij wordt gebruik gemaakt van loggegevens uit het systeem waar mogelijk. Indien dit niet mogelijk is, worden technische tijden van procesonderdelen handmatig gemeten en schematisch opgesteld om zo wachttijden veroorzaakt door omliggende processen uit te filteren, en de taktijd van de proceseenheid te berekenen. Deze taktijden worden vergeleken t.o.v. andere onderdelen in de proceslijn om de bottlenecks op de verschillende graden te rangschikken. Deze bottlenecks worden dan waar mogelijk bijgestuurd en indien nodig worden procesonderdelen aangepast totdat zij voldoen aan de norm die de maximale taktijd per as oplegt.

Pas wanneer bevestigd is dat de huidige infrastructuur de nieuwe doelstelling niet aankan, mag een ontwerp geïntroduceerd worden voor invasieve veranderingen aan de opstelling. Hier wordt prioriteit gegeven aan veranderingen die geïnstalleerd kunnen worden tijdens een actieve proceslijn, en geïmplementeerd kunnen worden op één weekend. Dit reduceert de kosten van de veranderingen omdat de proceslijn dan niet stilligt tijdens de renovatie. Pas wanneer dit niet mogelijk is, mogen plannen gemaakt worden om huidige proceseenheden te verwijderen en te vervangen door nieuwe installaties. De kost en rendabiliteit van deze veranderingen worden dan vergeleken met de bouw van een tweede, kleinere lakstraat alvorens een keuze te stellen.

2. Voorstudie

Debottlenecking is een methode waarbij vertragende procesonderdelen geïdentificeerd en geoptimaliseerd of vervangen worden met als doel de globale capaciteit van een productie- of verwerkingslijn te verhogen. De term ‘bottleneck’ ontleent zich uit de olie- en gasindustrie waarbij het punt dat het proces vertraagt vaak de vorm heeft van een flessenhals en de doorstroming van olie of gas beperkt. De eerste stap van debottlenecking bestaat meestal uit het analyseren van globale omstandigheden en parameters in een faciliteit. In sommige situaties is het elimineren van een bottleneck even simpel als het wijzigen van een systeemparameter om het proces te optimaliseren. In andere gevallen vergt de oplossing meer tijd en werk, zoals het vervangen van infrastructuur of gehele procesonderdelen.

Een kritische stap in het debottleneckingproces is het begrijpen van de grenzen van een installatie. In elke proceslijn kan de output tot op een zekere graad verhoogd worden, maar dit moet nooit ten koste gaan van de veiligheid [2].

Een debottlenecking viseert zich op het vinden van de rechtstreeks vertragende processtap of een ‘bottleneck van de eerste graad’. Dit creëert een iteratief cyclisch proces van identificeren en optimaliseren dat zich telkens herhaalt tot de gewenste output bereikt is. Een bottleneck van de tweede graad definieert zich dan als de processtap die de verwerking zal begrenzen wanneer de bottleneck van de eerste graad sterk genoeg geoptimaliseerd is en niet meer het rechtstreeks vertragende procesonderdeel is.

Populaire technieken om een debottlenecking uit te voeren bestaan uit simulaties van de proceslijn waarbij d.m.v. een interface snel parameters aangepast kunnen worden om de effecten op de lijn te bestuderen. De meeste interfaces zijn gespecialiseerd om proceseenheden gebruikt in de chemische industrie te simuleren. Omdat debottlenecking vaak toegepast wordt op proceslijnen moet vloeiende producten (water, olie, gas, chemicaliën, etc.), is er niet veel informatie over technieken toegepast op proceslijnen met assemblages als bewerkt product. Ook simulatiesoftware is in dit project niet beschikbaar. Om die reden kunnen enkel manuele technieken in dit project toegepast worden.

In dit project wordt a.d.h.v. metingen en analyseren van procesparameters de capaciteit van elke processtap berekend. De metingen bestaan uit geklokte technische tijden van processtappen tijdens normaal bedrijf. Om relevante informatie uit deze geklokte tijden te bekomen, worden stresstesten uitgevoerd. Stresstesten bestaan uit het vullen van buffers of stations voor de betrokken processtap en het leeg maken van buffers of posities na de betrokken processtap. Op deze manier wordt verzekerd dat de geklokte tijden alleen afhankelijk zijn van acties uitgevoerd binnen de te meten processtap. Indien dit echter niet mogelijk is, moeten de processtappen voor of na deze eenheid bekeken worden aangezien deze dan het proces sterker vertragen dan de processtap die hier bekeken wordt. Mogelijk moeten deze eerst bijgewerkt worden voordat verdere metingen uitgewerkt kunnen worden.

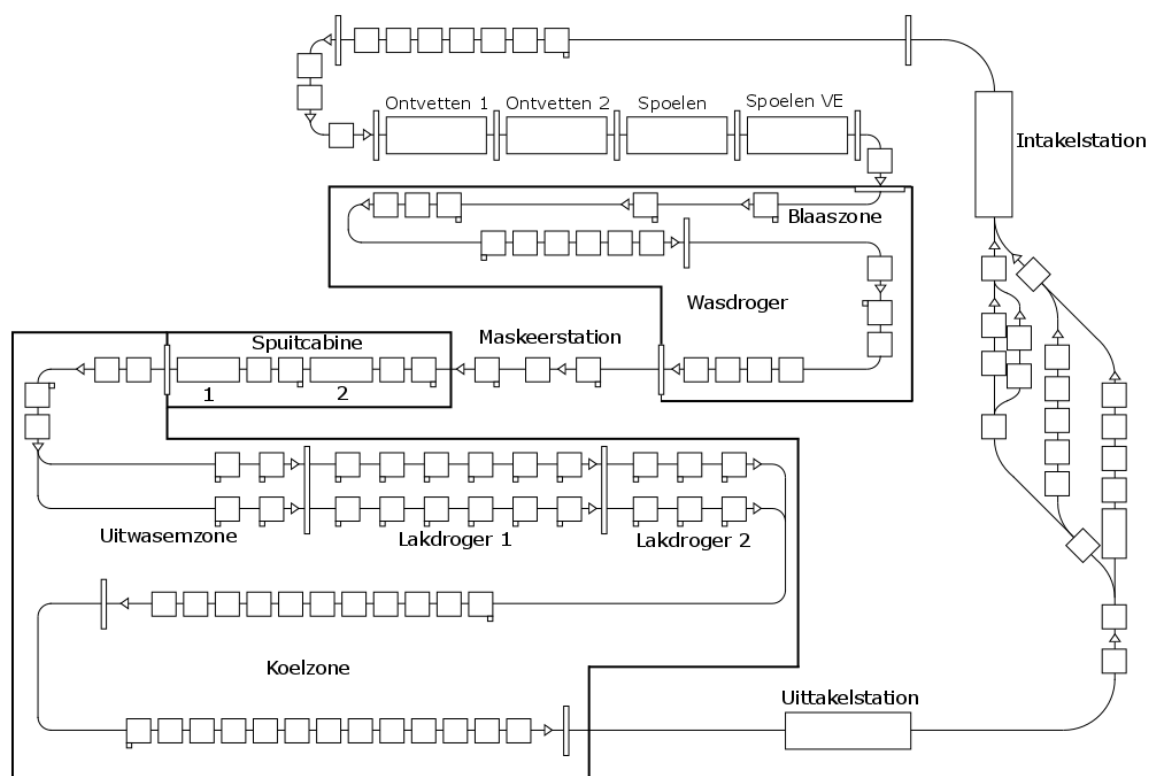
Zodra het proces in kaart staat en de capaciteiten van de individuele processtappen berekend zijn, kunnen de bottlenecks geïdentificeerd worden.

2.1. Proceslijn

Figuur 2 geeft een schematische voorstelling van de processtappen in de assenlakstraat weer. Een motor drijft een eindeloze ketting met haken aan. Deze haken grijpen in op een koppeling in de rollen vooraan op de loopwagens. Wanneer een voorgaande loopwagen of een stopper een rol op de koppeling indrukt, trekt deze zich terug en wordt de loopwagen ontkoppeld van de ketting. Op deze manier kunnen loopwagens met hun assen stationair blijven tijdens procesonderdelen zonder dat de ketting hiervoor dient te stoppen.

Hoewel het systeem specifieke assen kan traceren a.d.h.v. loopwagennummers, bevat de as ook een identificatielabel met een barcode en belangrijke informatie zoals het astype. Op die manier kunnen ook werknemers en operators assen controleren zonder hierbij nood te hebben aan een computer. De werknemers scannen ook in elk manueel station deze labels als extra verificatiemiddel om eventuele fouten te corrigeren.

De eerste stap van de proceslijn begint bij het intakestation, waar een werknemer de as monteert aan een loopwagen. Hier wordt gebruik gemaakt van een lift met een ingebouwde stopper en mechanische terugslagklep om te voorkomen dat de loopwagen van de lift af zou rollen tijdens het stijgen of dalen. De werknemer monteert de as aan de loopwagen met behulp van beugels die aangrijpen op drie opeenvolgende wielbouten aan elke kant van de as. De overige wielbouten worden bedekt met een maskeerkrans. Remhouderklem voorkomen dat de as roteert tijdens het proces door aan te grijpen in de remschijf en op de remblokhouders van de as. Bij trommelremmen neemt een derde beugel in het midden van de as deze functie over. Na visuele controle van de bevestigingen stuurt de werknemer de lift omhoog en geeft de loopwagen vrij. De stopper opent en koppelt daardoor de loopwagen opnieuw aan de ketting.



Figuur 2: Schematische voorstelling assenlakstraat

Door middel van vier spoelbaden doorgaan de assen een voorbehandeling dat alle te lakken delen vetvrij moet maken. Cabines 1 en 2 bevatten een ontvettend detergent. Cabine 3 bevat spoelwater en in cabine 4 worden de assen afgespoeld met gedemineraliseerd water. Deze laatste twee vormen een gesloten cyclus waarbij het spoelwater verwerkt wordt m.b.v. natriumhydroxide en waterstofchloride alvorens terug naar het demi-bad te vloeien.

Na de spoelbaden verblijft de as een vooropgestelde tijd in blaas- en droogzones om te voorkomen dat overblijvend water de kwaliteit van de lak in gevaar brengt. Het systeem monitort deze verblijftijd per loopwagen, waardoor de wagens niet noodzakelijk in dezelfde positie dienen te blijven. Dit maakt het mogelijk om meerdere posities in de zones te definiëren en meerdere assen tegelijk te drogen. Het systeem maakt wel een onderscheid tussen de blaas- en droogzones, waardoor de verblijftijden voor deze twee zones niet noodzakelijk gelijk moeten zijn.

Het vierde station prepareert de as voor het lakken. Een werknemer maskeert hierbij de remschijven en openingen die niet gelakt dienen te worden, droogt kuipvormige uitsparingen waarin water overblijft en fixeert het identificatielabel. De werknemer verifieert de gegevens van de as met het systeem en geeft de as vrij wanneer deze klaar is voor het lakken. Een mobiele stopper, aangedreven door een riem, trekt dan de as in de spuitcabine.

De spuitcabine werkt autonoom en bevat ook een eigen, tragere ketting die de assen doorvoert tijdens het lakproces. Indien er een storing plaatsvindt, valt deze ketting stil zonder dat de andere processen stilvallen. Door middel van sensoren traceert het systeem op elk ogenblik de positie van de loopwagen in de spuitcabine. Op deze manier past de robot zijn positiesturing aan bij lichte variaties in de kettingsnelheid. Wanneer de robot nog niet klaar is met het spuitprogramma van de vorige as, en de volgende as de spuitcabine reeds binnenrolt, registreert het systeem deze as niet. Dit heeft als gevolg dat de robot deze as overslaat, en de spuitcode die hiermee geassocieerd wordt, toepast op de as daarna. Daarom voorzien programmeurs en procesingenieurs tussenafstand tussen opeenvolgende assen a.d.h.v. een onderverdeling van de spuitcodes. Elke astype bevat een eigen spuitcode en een eigen programma dat de twee robots doorlopen tijdens het lakken. Deze spuitcodes zijn onderverdeeld in drie types afhankelijk van de benodigde cyclus tijd. Dit type bepaalt de tussenafstand die de mobiele stopper overlaat tussen de huidige en de volgende as. Bij type I bedraagt de tussenafstand één meter, bij type II anderhalve meter, en bij type III twee meter. Daarbij wordt 2,5 meter bijgerekend voor de lengte van de as.

Na het lakken doorloopt de loopwagen een verluchte uitwasemzone waarin vluchtige bestanddelen in de lak de kans krijgen te vervliegen alvorens de lak uithardt. Dit uitharden gebeurt in twee opeenvolgende ovens. Hoewel de ovens uit twee parallelle lijnen bestaat, verandert dit niets aan de volgorde van de loopwagens. Het systeem hanteert opnieuw vooropgestelde verblijftijden zoals in de blaas- en doorzones na de voorbehandeling. Het binnenkomen en verlaten van assen verloopt op die manier volgens een *First In, First Out (FIFO)*-principe.

Als laatste plaatst een werknemer de assen op een transportbok op een manier analoog aan het intakestation. Remhouderklemmen, maskeerkransen en extra beugels hangt de werknemer aan haken op de loopwagen voor eenvoudig transport terug naar het intakestation.

Tussen het uit- en intakestation bevindt zich een buffer met drie parallelle lijnen die het mogelijk maakt om loopwagens gedimensioneerd voor voor- en achterassen te onderscheiden. Op die manier kan het systeem reeds de juiste loopwagen aanvoeren wanneer het type van de as ingegeven wordt, en dient de loopwagen niet opnieuw gedimensioneerd te worden. Een werknemer kan een loopwagen eenvoudig dimensioneren door *jukken* in een andere uitsparing in de loopwagen te plaatsen.

2.2. Kwaliteit van de lak

De kwaliteit van de lak moet gewaarborgd blijven na elke verandering die geïmplementeerd wordt op de lakstraat. Een operator controleert deze enkel visueel en stuurt de as een tweede keer door de lakstraat in geval van twijfel of een storing. Operators geven aan dat de meeste storingen veroorzaakt worden door het stilvallen van de robots of het wegvallen van de druk. Omdat de robots echter geïnstalleerd, geprogrammeerd en onderhouden worden door een externe firma, kunnen deze niet geïnccludeerd worden in de masterproef. Deze firma monitort elke storing en werkt deze wekelijks bij. Vanuit DAF kunnen enkel gegevens doorgegeven worden die betrekking hebben op de spuitcodes, waaronder de types waarin ze onderverdeeld zijn.

Bij veranderingen van de types en eventuele verhogingen van snelheden, moet ook bekeken worden of de dekking van de laklaag niet verdund of op andere manieren de kwaliteit in het gevaar brengt.

2.3. Capaciteitsmetingen

Tabel 1 geeft de resultaten weer van een capaciteitsmeting die een ingenieur reeds in 2009 heeft uitgevoerd. Hierbij werd de capaciteit van de verschillende posten gemeten onder verschillende regimes met een variërende bemanning van de manuele posten. In de huidige situatie wordt het maskeerstation en het uittakelstation elk bemand door één werknemer. Het intakelstation en de aanvoer bevatten elk één vaste werknemer en tussen beide beweegt zich een zogenaamde ‘vlinder’. Deze vlinder helpt voornamelijk met het intakelen, maar bij het leeglopen van de intakelbuffer neemt de vlinder plaats op een heftruck om bij te staan bij de aanvoer tot de buffer zich vult.

Manuele werkposten		Tijd	Posities	Taktijd	Factor 1,1	7u	7u30	8u
Aanvoer	1 man			108,0	118,8	212	227	242
	2 man			86,0	94,6	266	285	304
Intakelen	1 man			104,0	114,4	220	236	252
	2 man			87,0	95,7	263	282	301
Maskeerzone	1 man			98,0	107,8	234	250	267
Uittakelen	1 man			91,0	100,1	252	270	288
	2 man			83,0	91,3	276	296	315

Procestijden

Voorbehandeling				91,7		275	294	314
Afblaaszone				60,0		420	450	480
Droogzone	8 min	9		53,3		473	506	540
Koelzone	5 min	7		42,9		588	630	672
Robots	Type 1			92,0		274	293	313
	Type 2			105,0		240	257	274
	Type 3			118,0		214	229	244
	Mix 70/15/15			97,9		257	276	294
Uitwasemzone	5 min	6		50,0		504	540	576
Lakoven 1	15 min	12		75,0		336	360	384
Lakoven 2	18 min	17		63,5		397	425	453
Koelzone	8 min	13		36,9		683	731	780

Tabel 1: Capaciteitsmeting van individuele processtappen uit 2009 [1]

De eerste duidelijke bottleneck duikt op bij de manuele werkposten, maar hierbij geven ingenieurs op locatie de nota dat dit ook bestaat uit wachttijden op technische looptijden en omliggende automatische posten. Door het gebrek aan een arbeidsanalist in het bedrijf is het ook niet mogelijk om deze taktijden te verifiëren. Na observaties wordt duidelijk dat de vooropgestelde normen niet noodzakelijk gehanteerd worden om variërende redenen. Eén van die redenen vindt zich in de manier van het opstellen van de normen. De normen worden opgesteld door elke afzonderlijke handeling in een schema op te stellen en de benodigde tijd hiervoor op te tellen tot een totaal voor het gehele proces. In de werkelijkheid worden echter verschillende handelingen ergonomisch gecombineerd waardoor de procestijd drastisch daalt. Daarnaast heeft de factor van 10%, die door de auteur van deze

berekeningen werd toegepast om variërende prestaties van werknemers te compenseren, ook een grote invloed op de capaciteit van deze posten. Door wachttijden in het procesverloop is deze factor waarschijnlijk overbodig.

Omdat deze factoren een grote invloed hebben op de metingen, en de metingen niet opnieuw uitgevoerd kunnen worden, wordt dit element uit de masterproef geschrapt. Indien deze posten in een later stadium een probleem vormt, zal het bedrijf hiervoor een arbeidsanalist moeten aannemen.

Lager in de tabel stellen zich twee bottlenecks. De bottleneck op de eerste graad bevindt zich in de spuitcabine. Volgens deze metingen kan de spuitcabine slechts gemiddeld 257 assen per shift verwerken. Deze resultaten worden bekomen uit een gewogen gemiddelde van de taktijden van de drie verschillende spuittypes. Voor de berekeningen heeft de ingenieur gebruik gemaakt van een verdeling bestaande uit 70% type I assen, 15% type II assen, en 15% type III assen. Aangezien een externe firma de robots onderhoudt en installeert, kunnen er alleen wijzigingen hieraan geïmpliceerd worden. Optimalisaties hiervan zullen zich dus moeten baseren op de onderverdeling van de spuitcodes in de types, en met behulp hiervan een verhoging van de kettingsnelheid. Op deze manier kan een lagere gewogen gemiddelde taktijd bekomen worden.

Onmiddellijk duikt ook een bottleneck van de tweede graad op, namelijk de voorbehandeling. Met een gemiddelde van 275 assen per shift voldoet deze niet aan de vooropgestelde doelstelling van 295 assen per shift. De voorbehandeling wordt aangestuurd door een PLC-sturing, wat de mogelijkheid biedt om het programma aan te passen om op die manier de taktijd te verlagen. In de elektrische en pneumatische schema's worden afzonderlijke circuits afgebeeld voor elke cabine. Een wijziging aan de infrastructuur is niet nodig.

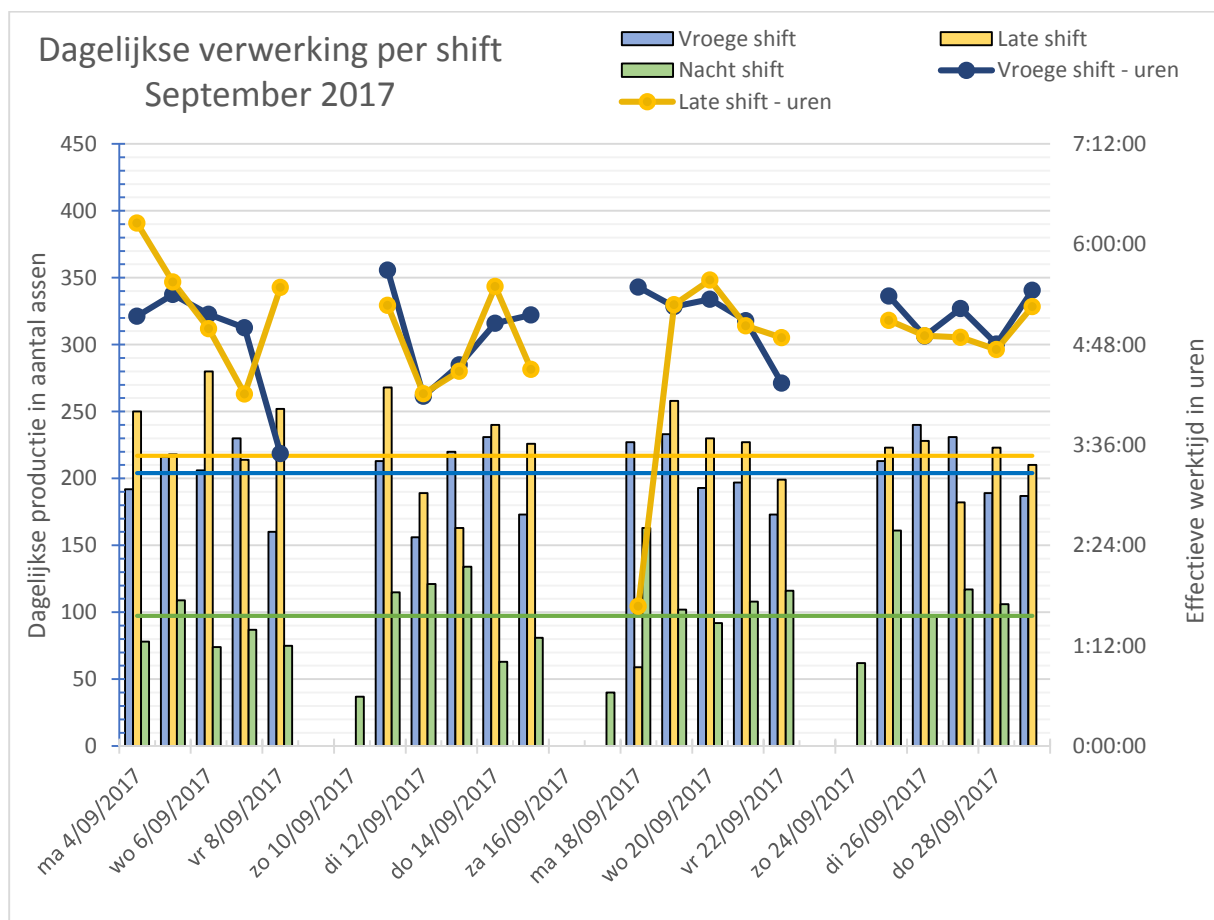
Omdat de taktijden van de manuele posten niet voor verificatie vatbaar zijn, en deze na observatie niet onmiddellijk de bottleneck op de eerste of tweede graad vormen, nemen zij voorlopig de plaats van de bottleneck op de derde graad in. Door het gebrek aan een arbeidsanalist kan deze stelling pas geverifieerd worden nadat de bottlenecks op de eerste en tweede graad bijgewerkt en geëvalueerd worden. Het benaderen van reeds twee graden bottlenecks in het proces, creëert tijds winst en bijgevolg een lagere kostprijs bij het verhogen van de output van het proces. Bijgevolg is dit een verbetering op het standaard iteratief proces van debottlenecking.

3. Metingen

3.1. Globale verwerkingsmetingen

Het centrale logstelsel MESQA registreert voor elke as bij het afmelden aan het uittakelstation belangrijke gegevens zoals transportnummers, afmeldtijd, astype, etc. Dit maakt het mogelijk om per shift de totale verwerking aan assen, indien nodig onderverdeeld in voor- en achteras, te onderzoeken en stilstandtijden op te sporen. Door de huidige ingestelde taktijd weten we dat elke 90 seconden een as dient afgemeld te worden. Rekening houdend met vertragingen in het systeem en de rendabiliteit van de inzet in het onderzoek, wordt beslist om alle stilstandtijden langer dan 15 minuten op te sporen. Op deze manier kan de dagelijkse productie per shift vergeleken worden met de effectieve werktijd per dag. Ook kunnen deze tijdstippen vergeleken worden met storingsrapporten om de impact van een storing op een bepaalde proceseenheid in kaart te brengen.

Voor deze toepassing worden de gegevens van september 2017 uit de MESQA gehaald. Figuur 3 duidt de dagelijkse verwerking van assen per shift af in vergelijking met de gepresteerde uren tijdens diezelfde shift. De horizontale lijnen duiden het gemiddelde aan per shift over dezelfde periode. Het evenredig verband tussen het aantal effectieve uren en de verwerkte assen is onmiddellijk duidelijk, maar ook onregelmatigheden vallen op. Zo is er op woensdag 6 september 2017 een daling in het aantal gepresteerde uren tijdens de late shift te zien terwijl het aantal verwerkte assen beduidend hoger ligt dan de voorgaande dag. Dit duidt op een hoge hoeveelheid stilstandtijden die korter duren dan 15 minuten, aangezien deze niet geregistreerd worden in deze metingen. Het hoge productieaantal duidt erop dat het buffervermogen van de installatie voldoende is om korte stilstandtijden te compenseren. Deze stilstandtijden worden bepaald a.d.h.v. de afmeldtijdstippen van de assen. Afmelden gebeurt bij het uittakelstation. Hierdoor is duidelijk dat de stilstanden op het einde van de lijn plaatsvinden.



Figuur 3: Dagelijkse productie per shift in september, vergeleken met de effectieve werktijd

Op het tweede zicht vallen vooral de cijfers van de effectieve werktijden op. Voor de vroege en late shift schommelen deze rond 5,5 uur terwijl in theorie 7 uur per shift verwerkt zou moeten worden. Dit duidt erop dat een hogere verwerking van de assenlakstraat bekomen kan worden door herhaaldelijke storingen op te lossen en op die manier stilstandtijden drastisch te verminderen. De eerste stap van dit proces bestaat dus uit het opsporen van storingen en deze bij te sturen.

Uit het hoge buffervermogen van de installatie ten opzichte van korte stilstandtijden kan geconcludeerd worden dat de oorzaak van deze stilstandtijden zich tegen het einde van de proceslijn bevinden. Tabel 1 duidt echter aan dat de ingestelde taktijd van de lakovens en de koelzone laag genoeg ligt om geen vertragend effect te hebben op deze buffer. Bovendien zijn er ook geen storingsrapporten over deze zones terug te vinden. De eerstvolgende eenheid stroomopwaarts is de spuitcabine. Tabel 1 duidt erop dat de taktijd van deze eenheid te hoog ligt om een stilstandtijd te kunnen compenseren, waardoor geconcludeerd kan worden dat de oorzaak zich hier zal bevinden. Storingsrapporten bevestigen dit. Operatoren rapporteren meermaals dat op willekeurige ogenblikken een robot stilvalt, de operator de robot manueel opnieuw moet opstarten en de betrokken as moet rondsturen. Omdat de externe firma ABB Robotics de robots onderhoudt, kan geen dieper onderzoek uitgevoerd worden naar de oorzaak. Deze kwestie dient opgenomen te worden met ABB zodat zij een diagnose kunnen uitvoeren en de nodige stappen kunnen ondernemen.

Omdat de dagelijkse verwerking van assen gebaseerd wordt op tijdstippen waarbij een operator een as afmeldt aan het uittakelstation, kunnen geen verdere storingen getraceerd worden a.d.h.v. deze gegevens. De volgende stap bestaat uit het filteren van storingsrapporten met betrekking tot de robots, deze verder communiceren met ABB, en de overige storingsrapporten te bekijken. Hierin wordt duidelijk dat ook aan het intakelstation een veelvoorkomende oorzaak van stilstandtijden plaats vindt. Operators rapporteren regelmatig het haperen of stilvallen van het draaiplatform waarmee karren afgevoerd worden. Deze karren geven mobiliteit aan de assen tijdens het transport van hun respectievelijke montagelijnen naar de assenlakstraat. Bij het haperen van het draaiplatform kan de kar niet afgevoerd worden en blokkeert het intakelstation.

De rapporten vermelden geen mogelijke oorzaak van het haperen en de computer verzamelt geen loggegevens tijdens het bedrijf van het station. Het opsporen van de oorzaak vereist diepgaander onderzoek zoals het doorgronden van het programma waarmee het platform bestuurd wordt, en het demonteren van het platform om eventuele fysieke oorzaken, zoals obstakels, te identificeren.

Figuur 3 kan in de meeste gevallen ook gebruikt worden om te identificeren op welke dagen gebruik gemaakt werd van kleine pauzes en bijgevolg de effectieve werktijd hoort te stijgen. De hoeveelheid aan stilstandtijden maakt echter onduidelijk wanneer sprake is van een korte of lange pauze of wanneer er sprake is van een procesonderbreking die plaatsvindt rond hetzelfde tijdstip. Voor deze gegevens moeten dus dagrapporten van deze dagen onderzocht worden.

3.2. Meting van individuele procesonderdelen

3.2.1. Spuitcabine

Uit de globale verwerkingsmetingen en de gegevens uit de vroegere capaciteitsmeting van de lakstraat blijkt dat in de spuitcabine zich de meest waarschijnlijke eerstegraads bottleneck bevindt. Om dit te verifiëren wordt de gemiddelde taktijd van het lakproces berekend. In het systeem is reeds een logging ingebouwd waarin de cyclustijd van elke doorlopen spuitcode opgeslagen wordt. Deze cyclustijd wordt gemeten vanaf het moment dat de robot start met het lakken, tot het moment dat deze stopt. Voor elke robot wordt de cyclustijd apart opgeslagen. De cyclustijd omvat niet de tijd die de robot neemt om de *nozzle* te spoelen.

De gemiddelde taktijd van het lakproces hangt niet rechtstreeks af van de individuele cyclustijden van de verschillende spuitprogramma's. De spuitprogramma's worden op basis van hun cyclustijd ingedeeld in drie types. Het type bepaalt de tussenafstand tussen de huidige as en de volgende as. Door de vaste kettingsnelheid bepaalt deze tussenafstand de taktijd voor elk type. Afhankelijk van een gewogen gemiddelde op basis van de frequentie van de drie types wordt dan de gemiddelde taktijd van het lakproces bepaald. De berekening gebeurt dus in drie stappen:

1. Voor elke as die gelakt wordt, slaat het systeem de cyclustijd van het doorlopen programma op. Deze gegevens worden één week bewaard in de computer. Door wekelijks de gegevens te exporteren uit het systeem kunnen over verschillende weken geregistreerde cyclustijden bekomen en verwerkt worden. Het spuitprogramma dat het meeste tijd nodig heeft om zijn respectievelijke as af te werken, bepaalt de taktijd van dat type.
2. Door de afgelegde afstand van een as in een bepaald type uit te zetten t.o.v. zijn respectievelijke taktijd, kan de maximale kettingsnelheid van de spuitcabine bepaald worden. Het type dat de laagste kettingsnelheid nodig heeft om zijn lakprocessen met zekerheid op tijd te kunnen afronden, bepaalt de maximale snelheid.
3. Met deze kettingsnelheid worden opnieuw de taktijden voor elk type berekend. Met behulp van een gewogen gemiddelde in functie van de respectievelijke frequentie van deze drie types wordt dan de gemiddelde taktijd van de spuitcabine bepaald. Dit cijfer wordt vergeleken met de norm en taktijden van andere procesonderdelen om te bepalen of de spuitcabine werkelijk de eerstegraads bottleneck vormt.

		Max. cyclustijd	Frequentie
Type I	Robot 1	82,85	86,17%
	Robot 2	80,95	
Type II	Robot 1	102,25	10,41%
	Robot 2	97,80	
Type III	Robot 1	110,16	3,42%
	Robot 2	108,68	

Tabel 2: Maximale cyclustijden en frequentie van elk onderverdelingstype

Type :	Type I	Type II	Type III	(Type IV)
Afstand (m):	3,5	4	4,5	5
Snelh. (mm/s)				
38	92,11	105,26	118,42	131,58
39	89,74	102,56	115,38	128,21
40	87,50	100,00	112,50	125,00
41	85,37	97,56	109,76	121,95
42	83,33	95,24	107,14	119,05
43	81,40	93,02	104,65	116,28
44	79,55	90,91	102,27	113,64
45	77,78	88,89	100,00	111,11
46	76,09	86,96	97,83	108,70
47	74,47	85,11	95,74	106,38
48	72,92	83,33	93,75	104,17
49	71,43	81,63	91,84	102,04
50	70,00	80,00	90,00	100,00

Tabel 3: Taktijd per type bij variërende kettingsnelheden

Tabel 2 geeft de maximale gemeten cyclustijden en frequenties weer van elk type spuitcodes. De volledige tabel is te vinden in bijlage 1. Tabel 3 lijst de taktijd per type op bij variërende kettingsnelheden. De afstand op regel twee duidt op de afstand die de ketting moet afleggen om een as van het respectievelijke type volledig te verwerken. De tijd die de ketting hiervoor nodig heeft, definieert de taktijd van het type in kwestie. Zo moet bij een as van het type I de ketting een afstand van 3,5 meter afleggen alvorens aan de volgende as begonnen wordt. Bij een kettingsnelheid van 38 mm/sec bedraagt de taktijd hier 92,11 seconden. Door combinatie van deze twee tabellen is duidelijk dat de ketting in de huidige situatie maximaal mag ingesteld worden op een snelheid van 39 mm/sec om geen storingen te veroorzaken. Om marge in te bouwen heeft het bedrijf echter een kettingsnelheid ingesteld van 38 mm/sec. Met behulp van de frequentie van elk type geeft dit een gemiddelde taktijd van 94,4 seconden per as. De ingebouwde marge laat ruimte voor de robots om hun nozzle te spoelen. Dit gebeurt na elke derde gelakte as.

Deze berekende taktijd is reeds lager dan de taktijd uit de bestaande gegevens. De oorzaak hiervan is te vinden in het wijzigen van de frequentie van de spuitcodes. In vergelijking met tien jaar geleden, wanneer de vorige metingen zijn uitgevoerd, zijn er verschillende astypes vervangen door andere types die op hun beurt andere spuitcodes vereisten. Met het idee naar uitbreiding is hier rekening gehouden met strengere normen met betrekking tot de taktijd. Dit levert op zijn beurt een hogere relatieve frequentie voor de sneller gelakte type I assen en bijgevolg een lagere gemiddelde taktijd. Desondanks voldoet de spuitcabine nog steeds niet aan de norm van 85,4 seconden per as en vormt het lakproces een bottleneck. Aangezien het lakproces reeds bij het vooronderzoek opgesteld werd als een bottleneck van de eerste graad, en de taktijd na verificatie nog steeds hoger ligt dan de taktijd van de bottleneck op de tweede graad, kan de eerstegraads bottleneck van de assenlakstraat bevestigd worden.

3.2.2. Voorbehandeling

Uit de globale verwerkingsmetingen en de gegevens van de vroegere capaciteitsmeting wordt duidelijk dat de voorbehandeling de meest waarschijnlijke kandidaat is voor de tweedegraads bottleneck. Aangezien dit station wordt aangestuurd door een PLC-sturing, zijn eventuele variaties op de taktijd dus enkel afhankelijk van omliggende stations. Zo kan er een vertraging optreden wanneer er nog geen plaats vrij is in het volgende station voor de uitgaande assen, of kan door een stilstand bij het intakelstation een vertraging optreden in de voorbehandeling. Ter verificatie werden echter de technische tijden van de voorbehandeling toch gemeten.

Processtap	Duur (sec)
Ketting	22
Deuren sluiten	6
Spoelen	50
Deuren openen	7
Uitdruptijd	4
Totaal	89

Tabel 4: Technische tijden voorbehandeling

Tabel 4 geeft de gemeten technische tijden weer van elke processtap bij het voorbehandelingsproces. Hierbij wordt vanuit het bedrijf de opmerking gegeven dat de duur van het spoelproces aangepast kan worden, maar de gevolgen hiervan moeten eerst geanalyseerd worden door het labo in Eindhoven. De processtap 'ketting' duidt op het onderdeel waarbij assen zich de laatste cabine verlaten, zich tussen twee opeenvolgende cabines bewegen, of de eerste cabine binnenkomen. Na observatie werd vastgesteld dat deze functie niet volledig parallel plaatsvindt. Omwille van de veiligheid werd een timer ingebouwd waardoor bijvoorbeeld de as in cabine drie pas 1,5 seconden later vertrekt dan de as in cabine vier. Dit geeft het systeem de kans om een alarm te activeren en het proces stil te leggen wanneer de stopper in cabine vier blokkeert. Hierdoor wordt voorkomen dat het proces stilgelegd wordt wanneer een as zich tussen een deur bevindt, en mogelijk beschadigd wordt.

Als gevolg hiervan ontstaan er dode tijden bij individuele assen. De as in cabine één hangt een tijd stil zonder lopend proces voordat deze kan vertrekken naar de volgende cabine. Analoog hangt de as in cabine vier na zijn beweging een tijd stil tot alle assen op hun plaats hangen in hun respectievelijke cabines voordat de deuren sluiten en het spoelproces begint. Een bijkomende meting geeft weer dat de werkelijke beweging van één as, vanaf het moment tot vertrek tot het aanmelden in de volgende stopper, slechts 16 seconden duurt. Dit legt een totale dode tijd van 6 seconden bloot per cyclus. Bij het elimineren van deze dode tijd kan mogelijk de norm van 85,4 seconden per as wel behaald worden.

3.3. Conclusie uit de metingen

Uit de metingen kan geconcludeerd worden dat de eerstegraads bottleneck zich bevindt in de spuitcabine waar de huidige gemiddelde taktijd 94,4 seconden per as bedraagt. Op een shift met normale pauzes en een totale werkduur van 7 uur levert dit een capaciteit op van 266 assen per shift, of 532 assen per dag. Hiermee wordt het doel van dit project niet bereikt. Aan de spuitcabine is optimalisatie nodig om de norm van maximaal 85,4 seconden per as, of minimaal 295 assen per shift, te behalen.

Zelfs bij een shift van 7,5 uur met kortere pauzes voldoet de spuitcabine niet aan de norm. Met een gemiddelde taktijd van 94,4 seconden per as levert de spuitcabine onder dit regime slechts een maximale capaciteit van 286 assen per shift, of 572 assen per dag.

Ook de positie van de tweedegraads bottleneck wordt bevestigd bij het voorbehandelingsstation. Met een taktijd van 89 seconden per as in de huidige situatie kan dit station slechts maximaal 283 assen per shift, of 566 assen per dag, verwerken. Bij een regime van 7,5 uur, met kortere pauzes, wordt de norm echter wel behaald. Het halfuur langere verwerkingstijd levert een extra capaciteit van 20 assen waardoor 606 assen per dag verwerkt kunnen worden. Desondanks eist het project dat de regimes van 7 uur gewaarborgd blijven en voldoet de voorbehandeling dus ook niet aan de eisen.

Bij de metingen werden ook de manuele posten in grote lijnen geobserveerd. Bij de uitvoering van stresstesten op verschillende automatische stations in de proceslijn werd op geen enkel ogenblik moeite waargenomen om het tempo van de lijn bij te houden. Om die reden wordt niet verwacht dat deze posten een probleem zullen vormen bij het behalen van de nieuwe norm. Deze verwachtingen zijn niet bindend en bij een negatieve observatie zal een arbeidsanalist in dienst genomen moeten worden om deze posten te optimaliseren.

4. Optimalisatie

Bij het ontwerpen van oplossingen om de lijn te optimaliseren, krijgt elke bottleneck een prioriteit toegewezen afhankelijk van de graad. Bijgevolg geldt dat aan de spuitcabine als eerstegraads bottleneck de hoogste prioriteit wordt toegekend. Hierna volgt de voorbehandelingsseenheid. Na optimalisatie van deze twee eenheden volgt een evaluatie om de voortgang in kaart te brengen. Afhankelijk van de resultaten van dit rapport wordt het project verlengd of beëindigd.

4.1. Spuitcabine

De mogelijkheden tot optimalisatie van de spuitcabine zijn vrij beperkt zonder structurele veranderingen aan te brengen. Het programmeren van de spuitprogramma's gebeurt niet door de ingenieurs van DAF, maar door een programmeur van externe firma ABB Robotics. Het grootste deel van de programma's zijn reeds optimaal ingesteld waardoor hun individuele cyclustijden niet verlaagd kunnen worden. Programma's waar dit wel mogelijk is (vb. door een wijziging aan het astype), worden reeds aangepast over termijn.

4.1.1. Optie 1: Aanpassen van de programmastructuur

De ingenieurs van DAF zijn echter wel verantwoordelijk voor het indelen van de spuitprogramma's in de drie vooropgestelde types. Deze onderverdeling speelt een belangrijke rol in de maximale doorloopsnelheid van de ketting. Dit creëert de mogelijkheid om de onderverdeling opnieuw te ontwerpen en mogelijk de kettingsnelheid te verhogen. Zo wordt iteratief in de berekeningen de kettingsnelheid verhoogd, waarbij de maximale duur van een spuitprogramma in een bepaald type verlaagt. Spuitprogramma's die niet meer aan deze maximale duur voldoen, schuiven een type op, waardoor de frequentie voor de lagere types daalt en de hogere types stijgt. Een voorspelling moet uitwijzen of dit netto winst oplevert voor de gemiddelde taktijd.

		Type I		Type II		Type III	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Frequentie:		86,14%		10,41%		3,42%	
Max. cyclustijd:		82,85	80,95	102,25	97,80	110,16	108,68
Kettingsnelheid (mm/s)	38	92,11		105,26		118,42	
	39	89,74		102,56		115,38	
	40	87,50		100,00		112,50	
	41	85,37		97,56		109,76	
	42	83,33		95,24		107,14	
	43	81,40		93,02		104,65	
	44	79,55		90,91		102,27	
	45	77,78		88,89		100,00	
	46	76,09		86,96		97,83	
Gemiddelde taktijd:		91,93				sec	

Tabel 5: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine onder de huidige situatie

Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. geeft voor elk type spuitcodes de grootst voorkomende cyclustijd weer voor elke robot. Vanaf rij 4 worden de maximale cyclustijden voor elk type weergegeven bij variërende kettingsnelheden. Groene vakken geven de snelheden aan waarbij een type in theorie zijn programma's op tijd kunnen afwerken en geen storingen veroorzaken waarbij assen worden overgeslagen. In de huidige situatie zien we dat de opstelling een maximale kettingsnelheid aan kan van 39 mm/sec. Bij deze snelheid wordt een gemiddelde taktijd van 91,93 seconden bereikt.

4.1.1.1. Fase 1: Herverdeling van de spuitcodes

In de grafiek in de bovenstaande paragraaf bepaalt type II duidelijk de limiet van de kettingsnelheid. De eerste fase van de optimalisatie bestaat dus uit het herverdelen van de spuitcodes zodat de maximale kettingsnelheid voor alle types gelijk getrokken wordt. Dit wordt bekomen door spuitcode 131, horend bij het astype 1132 2E op te schuiven van type II naar type III. Daarnaast wordt na onderzoek ook duidelijk dat bepaalde spuitcodes niet in het juiste type staan, omdat hun cyclustijd te laag is voor het type waar ze in ingedeeld zijn. Zo kunnen spuitcodes 126, 132 en 200, horend bij de respectievelijke astypes 1132, 1132-1E en 1360 SR-1E, opschuiven van het type III naar type II. Vermoedelijk werden deze programma's zo ingedeeld om ze reeds in de productie te kunnen opstarten in afwachting van de metingen van de cyclustijd. Analoog kan spuitcode 999 opgeschoven worden van type III naar type I, maar aangezien spuitcode 999 slechts gebruikt wordt om nieuwe programma's te testen en de frequentie hiervan dus zeer laag is, levert dit geen significant verschil op voor de gemiddelde taktijd.

		Type I		Type II		Type III	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2
Frequentie:		86,34%		12,32%		1,34%	
Max. cyclustijd:		82,85	80,95	98,99	97,80	110,16	108,68
Kettingsnelheid (mm/s)	38	92,11		105,26		118,42	
	39	89,74		102,56		115,38	
	40	87,50		100,00		112,50	
	41	85,37		97,56		109,76	
	42	83,33		95,24		107,14	
	43	81,40		93,02		104,65	
	44	79,55		90,91		102,27	
	45	77,78		88,89		100,00	
	46	76,09		86,96		97,83	
Gemiddelde taktijd:				89,38		sec	

Tabel 6: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 1 van de optimalisatie

Tabel 6 geeft de maximale kettingsnelheid weer na toepassing van fase 1 van de optimalisatie. Hier zien we dat een kettingsnelheid van 40 mm/sec mogelijk wordt waarbij een gemiddelde taktijd van 89,38 seconden bereikt wordt. Dit is nog niet laag genoeg om de norm te behalen, maar levert wel vooruitgang op.

De winst in tijd wordt niet alleen behaald door het verhogen van de kettingsnelheid, maar ook op rij 3 van de tabel is duidelijk te zien dat de frequentie van de type II-assen stijgt ten koste van de frequentie van de type III-assen. Dit levert ook netto tijdsinstroom op van 12,5 seconden per as die in type II verwerkt wordt i.p.v. in type III. Ook de frequentie van type I stijgt licht door het schuiven van spuitcode 999 van type III naar type I, maar de kleine wijziging bevestigt dat spuitcode 999 niet in significante aantallen voorkomt. Dit wijst er alleen op dat enkele assen onder deze spuitcode tijdens de loop van deze metingen verwerkt zijn ten behoeve van testen.

De norm is niet bereikt, maar aangezien type III nu de grens vormt op de kettingsnelheid is het niet mogelijk om verder te optimaliseren zonder veranderingen aan te brengen in de structuur. Verbetering is slechts mogelijk wanneer er nog een type toegevoegd kan worden.

4.1.1.2. Fase 2: Toevoegen van type IV

Het type bepaalt de afstand tussen het beginpunt van de as in kwestie, en de volgende as. Zo moet de ketting bij een type I as een afstand van 3,5 meter afleggen alvorens de verwerking van de volgende as start. Bij een type II moet een afstand van 4 meter afgelegd worden. Analoog zal bij een type IV de ketting een afstand van 5 meter moeten afleggen voordat de verwerking van de volgende as begint. Deze extra 50 centimeter t.o.v. type III creëert meer tijd voor de robots om hun programma af te werken. Door de spuitprogramma's die de grens bepalen in type III te verplaatsen naar type IV, kan zo met een herverdeling van de spuitcodes mogelijk opnieuw een hogere kettingsnelheid bereikt worden.

		Type I		Type II		Type III		Type IV	
		R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
Frequentie:		86,34%		11,48%		1,12%		1,05%	
Max. cyclustijd:		82,85	80,95	94,32	79,04	102,25	97,80	110,16	108,68
Kettingsnelheid (mm/s)	38	92,11		105,26		118,42		131,58	
	39	89,74		102,56		115,38		128,21	
	40	87,50		100,00		112,50		125,00	
	41	85,37		97,56		109,76		121,95	
	42	83,33		95,24		107,14		119,05	
	43	81,40		93,02		104,65		116,28	
	44	79,55		90,91		102,27		113,64	
	45	77,78		88,89		100,00		111,11	
46	76,09		86,96		97,83		108,70		
Gemiddelde taktijd:		85,33 sec							

Tabel 7: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 2 van de optimalisatie

Om geen grote veranderingen te implementeren zonder deze tussentijds te testen, worden in deze fase slechts enkele spuitcodes verschoven. Zo worden de programma's 130, 156 en 157, horende bij de respectievelijke astypes 1132-1E en 1355-1E, verschoven van type III naar type IV. Analoog wordt spuitprogramma 166 voor het astype 1355-2E opgeschoven van type II naar type III. Tabel 7 geeft weer dat deze wijzigingen een maximale kettingsnelheid opleveren van 42 mm/sec. Hierbij daalt de frequentie van type II en type III assen lichtelijk naar respectievelijk 11,48% en 1,12% en krijgt het type IV een frequentie van 1,05%. De taktijd daalt met 4,05 seconden tot een gemiddelde van 85,33 seconden.

Hiermee wordt de norm bereikt met een overschot van 0,07 seconden per as. Theoretisch gezien voldoet dit aan de eisen van het project, maar praktisch zal hiermee het quota van 295 assen per dag nooit behaald worden. Slechts kleine variaties in de frequenties van de assen, prestaties van de werknemers of zelfs een minieme stilstand zal hierbij het quota van de dag reeds in het gedrang brengen.

De tabel geeft echter ook weer dat de grenzen van de kettingsnelheid voor de individuele types niet gelijk getrokken is en eenduidig bepaald wordt door type I en type II. In de volgende fase zal getracht worden om dit wel gelijk te trekken en zodanig de kettingsnelheid verder te verhogen tot een realistische marge op de gemiddelde taktijd bereikt wordt.

4.1.1.3. Fase 3: Herimplementatie van fase 1 na evaluatie van fase 2

In fase 3 wordt gefocust op het gelijktrekken van de grenzen van de kettingsnelheid voor de individuele types. Het probleem vestigt zich na fase 2 vooral bij type I en type II assen. De grenzen in type I worden bepaald door de spuitcodes 101, 103, 140 en 141, horende bij varianten van de assen 1347-SR en 1344. Bij type II worden de grenzen bepaald door de spuitcodes 180, 940 en 945. Deze worden gekoppeld aan de sleepas voor een nieuw type Euro-6 vrachtwagen en de sleepas N075.

		Type I		Type II		Type III		Type IV		
		R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	
Frequentie:		50,40%		46,76%		1,79%		1,05%		
Max. cyclustijd:		80,10	80,95	92,68	79,04	102,25	97,80	110,16	108,68	
Kettingsnelheid (mm/s)	38	92,11		105,26		118,42		131,58		
	39	89,74		102,56		115,38		128,21		
	40	87,50		100,00		112,50		125,00		
	41	85,37		97,56		109,76		121,95		
	42	83,33		95,24		107,14		119,05		
	43	81,40		93,02		104,65		116,28		
	44	79,55		90,91		102,27		113,64		
	45	77,78		88,89		100,00		111,11		
46	76,09		86,96		97,83		108,70			
Gemiddelde taktijd:		87,62								sec

Tabel 8: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 3 van de optimalisatie

Tabel 8 is te zien hoe bij het toepassen van de bovenstaande wijzigingen de maximale kettingsnelheid van de spuitcabine stijgt tot 43 mm/sec. De frequentie van de type I-assen daalt hierbij echter zo drastisch dat de gemiddelde taktijd niet daalt, maar stijgt tot 87,62 seconden. Hierbij wordt de norm in theorie niet meer behaald en heeft deze wijziging geen rendabel effect op de optimalisatie van de spuitcabine.

De tabel geeft ook weer dat de grenzen nog niet volledig gelijk getrokken zijn. De reden hiervoor vindt zich in het praktisch testen van de ontworpen wijzigingen. Deze ontwerpen houden alleen rekening met de theoretische cyclustijden van de individuele spuitprogramma's in de veronderstelling dat de infrastructuur deze snelheden aankan. Dit houdt in dat alle onderdelen ontworpen zijn om de motor volcontinu op deze snelheid aan te drijven bij een schommelende belasting. Deze schommeling wordt veroorzaakt door het koppelen van een aangevoerde as. Daarnaast wordt ook verondersteld dat de reikwijdte van de robots voldoende is om de assen bij de nieuwe snelheid te volgen en correct hun programma af te werken. Hetzelfde geldt voor het ontwijken van singuliere punten.

Met bovenstaande informatie wordt een vierde fase uitgewerkt waarbij wel alle grenzen gelijk getrokken worden. Dit heeft als doel de kettingsnelheid te verhogen tot 45 mm/sec waarbij de spuitprogramma's in type IV opnieuw de grens bepalen. Voorbij dit punt kan de kettingsnelheid niet verhoogd worden.

4.1.1.4. Fase 4: Deel 2 van fase 3

Zoals in de vorige paragraaf is vermeld, worden hier de spuitcodes opnieuw ingedeeld om gelijke grenzen voor de kettingsnelheid bij alle types te bekomen. Hiervoor verschuiven 7 spuitprogramma's van type I naar type II, namelijk de codes 210, 421, 423, 460, 653, 705 en 706. Deze zijn verantwoordelijk voor varianten van de assen 1360-SR-2E, 161-SR, 183-SR, N150-VRL en N156-SR. Daarnaast verschuiven de codes 132, 200, 901 en 946, verantwoordelijk voor de assen 1132-1E, 1360-SR-1E en de sleepas N075 van type II naar type III. Als laatste verschuift spuitcode 131, horende bij de as 1132-2E, van type III naar type IV

		Type I		Type II		Type III		Type IV		
		R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	
Frequentie:		45,43%		48,50%		4,73%		1,34%		
Max. cyclustijd:		75,94	77,11	88,80	80,95	98,99	97,80	110,16	108,68	
Kettingsnelheid (mm/s)	38	92,11		105,26		118,42		131,58		
	39	89,74		102,56		115,38		128,21		
	40	87,50		100,00		112,50		125,00		
	41	85,37		97,56		109,76		121,95		
	42	83,33		95,24		107,14		119,05		
	43	81,40		93,02		104,65		116,28		
	44	79,55		90,91		102,27		113,64		
	45	77,78		88,89		100,00		111,11		
	46	76,09		86,96		97,83		108,70		
Gemiddelde taktijd:		84,66								sec

Tabel 9: Maximale kettingsnelheid van de spuitcabine na fase 4 van de optimalisatie

Deze wijzigingen leveren weer een daling op van de frequentie van type I assen tot 45,43%. Het aantal type II-assen stijgt tot 48,50% en ook de type III en type IV-assen stijgen licht tot respectievelijk 4,73% en 1,34%. Desondanks daalt de taktijd met 3,4% tot 84,66 seconden. Hierbij wordt de vooropgestelde norm behaald met een marge van 0,74 seconden. Dit is in de praktijk nog niet groot, maar wel groter dan de marge geleverd door de wijzigingen bij fase 2. Dit levert in theorie de maximale capaciteit van de spuitcabine met de huidige infrastructuur in de veronderstelling dat structurele storingen, zoals het benaderen van singulariteitspunten of het overschrijden van de reikwijdte door de robots, niet voorkomen. Om dit te bevestigen, zal elke wijziging iteratief getest en gecontroleerd worden op:

- het volledig doorlopen van het spuitprogramma,
- het niet overslaan van opeenvolgende assen,
- het niet benaderen van singulariteitspunten,
- het niet overschrijden van de reikwijdte van de robot,
- het niet veroorzaken van botsingen tussen robots onderling, of robot en werkstuk.

Indien één van bovenstaande criteria niet behaald wordt en ook niet behaald kan worden m.b.v. aanpassingen doorgevoerd door ABB, voldoet de huidige infrastructuur in de spuitcabine niet aan de vooropgestelde norm voor taktijd en bijgevolg capaciteit.

4.1.1.5. Testprocedure

Om de mogelijkheden tot het aanpassen van de programmastructuur te testen, moeten eerst enkele criteria worden gecontroleerd. Bij het uitwerken van de bovenstaande fases, is alleen rekening gehouden met de theoretische cyclustijd van de individuele spuitcodes. Dit houdt geen rekening met eventueel optredende vertragingen in de ketting, sturing, of mechaniek van de robot. Ook wordt hier geen rekening gehouden met de tijd die de robots nodig hebben voor het spoelen van de nozzle. Daarnaast is er ook geen garantie dat de as tijdens het doorlopen van zijn spuitprogramma het bereik van de robot niet overschrijdt door de hogere kettingsnelheid. Dit kan resulteren in botsingen of stilstanden. Als laatste is er ook nog het hierboven vermelde probleem van de singuliere punten.

Om het optreden van singuliere punten te kunnen uitsluiten, moeten de spuitprogramma's op elke hogere snelheid gekozen in de vier fases getest worden. Bij het optreden van een singulier punt, moet het programma aangepast worden om dit punt te kunnen voorkomen. Het opnieuw programmeren van één spuitcode kan tot 8 uur in beslag nemen en kan alleen plaatsvinden wanneer de lijn niet in gebruik is. Dit resulteert in een vertraging van de aanpassing van één week per aan te passen spuitcode. Voor het overschrijden van het bereik van één van de robots door de as geldt een analoge werkwijze, met het verschil dat dit probleem mogelijk niet op te lossen is. De tijd waarin de as zich in het bereik van een robot bevindt, kan mogelijk te kort zijn om alle onderdelen tijdig te lakken. Wanneer dit het geval is, veroorzaakt dit een eliminatie van deze aanpassing.

Ten tweede moeten alle spuitcodes gecontroleerd worden op opvolgtijdelijkheid. Opvolgtijdelijkheid definieert zich door te controleren of de robot tijdig klaar is om aan de volgende as te beginnen. Zo kan het voorkomen dat een as tijdig gelakt wordt bij een bepaalde kettingsnelheid zonder het voorkomen van singuliere punten of overschrijden van het bereik, maar dat de volgende as wordt overgeslagen omdat de robot niet tijdig klaar is om hier aan te beginnen. Dit kan beïnvloed worden door vertragingen in de voorgaande spuitcode, of het tekort aan tijd om de nozzle te spoelen. Het spoelen neemt enkele seconden in beslag.

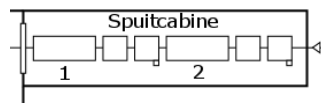
De opvolgtijdelijkheid van een spuitcode is enkel afhankelijk van de spuitcode zelf, en varieert niet met een veranderende volgorde in spuitprogramma's. Op die manier moet niet elke combinatie van spuitcodes gecombineerd worden om dit criteria te testen, hoewel deze fout wel sporadisch kan optreden. Ook dit sporadisch voorkomen vindt zich in de lichte variatie in cyclustijd door mechanische of elektronische vertragingen.

Om de testperiode te verkorten, zullen verschillende kleine testen plaatsvinden tijdens stilstanden in de verwerkingslijn omwille van pauzes. Een pauze van 10 minuten geeft al de mogelijkheid om 4 tot 6 assen te testen om de spuitcodes te controleren op bovenstaande criteria. Resultaten worden verzameld om de hoeveelheid van de nodige aanpassingen in de spuitprogramma's in kaart te brengen. Op deze manier kan dan een keuze gemaakt worden of deze oplossing rendabel is.

Indien de oplossing rendabel is, zullen er enkele aanpassingen plaatsvinden en geverifieerd worden a.d.h.v. grootschalige tests. Bij positieve resultaten uit deze test zal implementatie plaatsvinden.

4.1.2. Optie 2: Aanpassing van de infrastructuur

Indien het aanpassen van de programmastructuur niet de gewenste resultaten levert, is het noodzakelijk om de infrastructuur aan te passen. Dit wijst niet meteen op vervanging, maar een uitbreiding.



Figuur 4: Lay-out van de spuitcabine

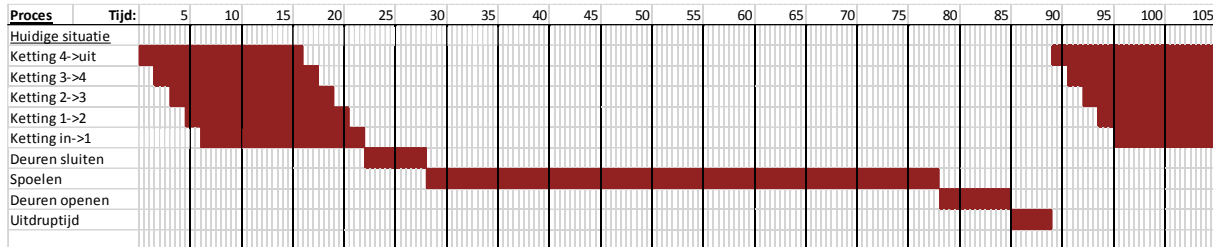
Figuur 4 geeft de indeling weer van de spuitcabine. De as doorloopt de spuitcabine van rechts naar links. De eenheid bestaat uit twee delen, benoemd als cabine 1 en cabine 2. Cabine 1 wordt gebruikt voor onderhoud, observatie en visuele controle van gelakte assen. Cabine 2 bevat de huidige opstelling van de robots en is tijdens het bedrijf van de lijn enkel toegankelijk met een sleutel om het alarm niet te activeren en bijgevolg de lijn stil te leggen. Enkel geautoriseerd personeel is in het bezit van deze sleutel. Een aanpassing aan de infrastructuur is mogelijk door een tweede set robots te plaatsen in cabine 2. Deze robots kunnen dan zowel serieel als parallel in gebruik genomen worden.

Bij seriële ingebruikname worden de spuitprogramma's verdeeld over de twee cabines. Hierbij zou cabine 2 verantwoordelijk zijn voor het eerste deel van de spuitcode, aangezien de as hier eerst passeert. De half gelakte as schuift dan door naar cabine één waar de nieuwe robots het programma zullen afwerken. Omdat elke set robots minder werk heeft om zijn deel af te werken, en dus minder tijd in beslag neemt, kan de kettingsnelheid drastisch verhoogd worden. Aangezien ABB Robotics de verantwoordelijkheid heeft over de robots, hangen de precieze resultaten af van wat zij kunnen installeren, afhankelijk van de eisen.

Bij parallelle ingebruikname is er geen sprake van samenwerking tussen robots met betrekking tot een as. In deze situatie wordt de kettingsnelheid variabel ingesteld met behulp van een frequentieregelaar. Deze is reeds geïnstalleerd en is klaar voor ingebruikname. Bij parallel procesverloop worden twee assen gelijktijdig bewerkt. De tussenafstand tussen twee assen wordt zo geregeld dat zij gelijktijdig het begin van de werkgebieden bereiken van de robots die deze assen zullen bewerken. De kettingsnelheid wordt op een hoog tempo ingesteld totdat dit punt bereikt wordt. Bij het bereiken van de werkgebieden wordt de kettingsnelheid vertraagd om beide robots genoeg tijd te geven om hun spuitprogramma's af te werken. Na afloop wordt de kettingsnelheid weer verhoogd om de twee bewerkte assen af te voeren en de twee volgende assen te bewerken. Ook op deze manier wordt de taktijd drastisch verlaagd door een verdubbeling van de verwerking per cyclus. De mogelijkheden van deze optimalisatie zijn ook afhankelijk van de mogelijkheden van ABB.

4.2. Voorbehandeling

De mogelijkheden tot optimalisatie in de voorbehandelingseenheid zijn minder beperkt dan bij de spuitcabine, aangezien zich in de gemeten technische tijden dode tijden bevinden. Figuur 5 toont schematisch de volgorde van de processtappen in de huidige situatie. Deze begint met het tijdstip waarop de as in cabine 4 de eenheid verlaat.



Figuur 5: Schematische processtructuur van de voorbehandeling in de huidige situatie

In de sturing zijn enkele veiligheids ingebouwd om beschadigingen te voorkomen bij een storing in belangrijke componenten. Zo zal de as in cabine 3 pas vertrekken wanneer de as in cabine 4 reeds vertrokken is en er geen storing in de stopper van cabine 4 gemeld is. Omdat een storing één seconde nodig heeft om een alarm te activeren en de installatie stil te leggen, zorgt een timer voor een vertraging van 1,5 seconden voordat de volgende as vertrekt. Een as heeft 16 seconden nodig om van zijn startpositie tot zijn volgende positie te bewegen. Dit sequentiële verloop levert een processtijd op van 22 seconden voor het herpositioneren van de assen.

De rest van de processtappen gebeuren in elk van de cabines gelijktijdig. Alle deuren sluiten en openen gelijktijdig en ook de pompen starten gelijktijdig. De sproeitijd is voor elke cabine gelijk. Na het sproeiproces en het openen van de deuren geldt nog een wachttijd van 4 seconden om de assen de kans te geven even uit te druppen.

De dode tijd wordt veroorzaakt door het gedeeltelijk sequentieel en gedeeltelijk synchroon verloop. Wanneer de as uit cabine 3 in cabine 4 aankomt, moet deze wachten tot alle assen in de voorgaande cabines op hun plaats hangen voordat het sproeien begint. Analoog moet de as in cabine 1 na het sproeien wachten tot de assen in de volgende cabines vertrokken zijn voordat deze zelf kan vertrekken.

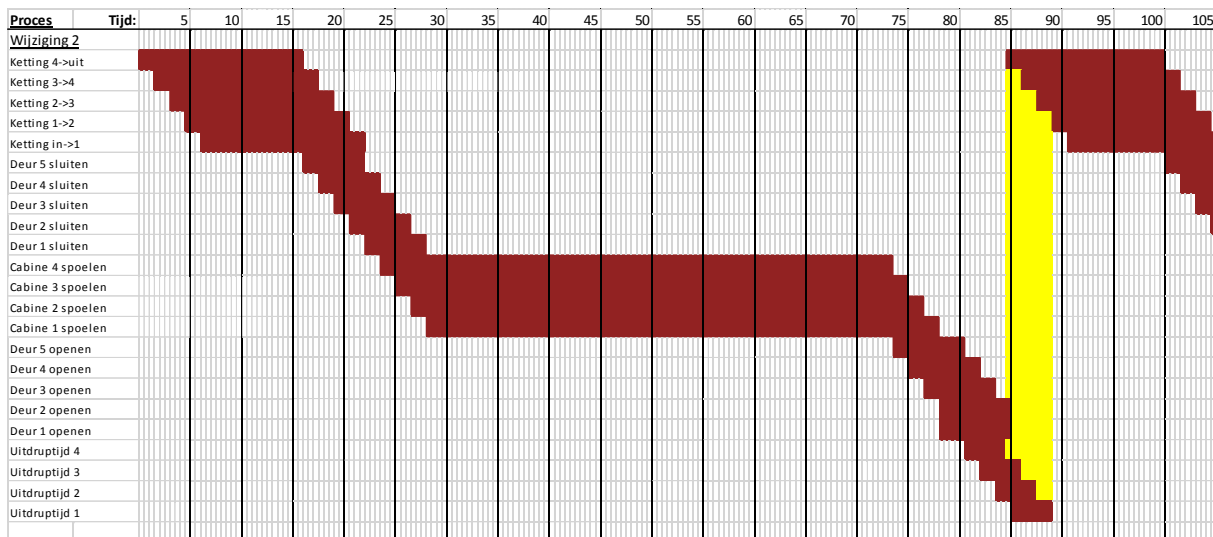
4.2.1. Optie 1: Elimineren van dode tijden door veranderingen in de PLC-sturing

De eerste verbetering wordt gerealiseerd door het elimineren van dode tijden. Door het individualiseren van de werking van elke cabine en elke deur, kan het sproeien starten zodra beide deuren van de cabine gesloten zijn. Op deze manier hoeft bijvoorbeeld de as in cabine 4 niet te wachten tot de assen in de voorgaande cabines op hun plaats hangen voordat deze verwerkt wordt.

In de PLC-sturing blijkt dat de voorwaarden voor de pomp in elke cabine afhangt van een controle op de merker die aanduidt dat alle deuren gesloten zijn. Deze merker wordt aangestuurd door een merker voor elke deur apart. Door deze laatste merker te substitueren in de voorwaarden voor de deuren, kan de cabine geïndividualiseerd worden.

De stoppers zijn reeds geïndividualiseerd. De voorwaarden in de PLC-sturing duiden aan dat de stopper pas opengaat als de deur voor de stopper open gemeld is en de volgende stopper afgemeld is, d.w.z. dat de as in deze stopper vertrokken is. Enkel bij de stopper voor de ingang van de voorbehandeling geldt een uitzondering. Deze houdt rekening met de stopper van de laatste cabine. Op die manier kan bij een actieve lijn, wanneer door toeval enkele cabines leeg zijn, de volledige eenheid leeg gedraaid worden om een kortdurend onderhoud of een herstelling uit te voeren.

De voorwaarden voor elke processtap zijn dus afhankelijk van de deuren. Na individualisatie van de deuren zou de onderstaande processtructuur gerealiseerd kunnen worden.



Figuur 6: Schematische processtructuur van de voorbehandeling na optimalisatie

Figuur 6 toont schematisch de processtructuur die na de wijzigingen geïmplementeerd wordt. Zo wordt deur 5 gesloten zodra de as uit cabine 4 vertrokken is en aangemeld is aan de volgende stopper. Op een analoge manier worden deur 4, 3, 2 en 1 individueel gesloten. Het spoelproces in cabine 4 start zodra deur 5 en deur 4 gesloten zijn. Analooft geldt dit voor cabine 3, 2 en 1. Wanneer het spoelproces in cabine 4 afgelopen is, wordt enkel deur 5 geopend. Deur 4 is een gemeenschappelijke deur tussen cabine 4 en cabine 3 en mag pas geopend worden als het spoelproces in cabine 3 afgelopen is. Omdat deur 1 de toegang vormt tot de eenheid, mag deze ook geopend worden als het spoelproces in cabine 1 afgelopen is en wordt deze bijgevolg gelijktijdig met deur 2 geopend.

Het sequentieel vertrekken van de assen blijft behouden. Ook de uitdruptijd blijft behouden, maar door de individualisatie van de deuren verloopt deze tussen de cabines niet meer synchroon. Dit levert een overlap op waarbij de as in cabine 4 reeds kan vertrekken terwijl deuren 1 en 2 nog aan het openen zijn. De totale technische tijd wordt met deze aanpassing met een halve seconde verlengd. Maar door de overlap tussen twee cyclussen, daalt de cyclustijd tot 84,5 seconden. Dit ligt onder de norm van 85,4 seconden en houdt een marge van 0,9 seconden over.

Om deze verbetering te testen, moet de voorbehandelingseenheid bij een inactieve lijn beschikbaar zijn. Op een actieve lijn zou het veranderen van de sturing mogelijk grote vertragingen kunnen opleveren en de productie van de dag doen kelderen. De testprocedure bestaat uit verschillende stappen. Zo moet er:

- een back-up gemaakt worden van het huidige ingeladen programma,
- gecontroleerd worden op fouten in de sturing na het inladen,
- getest worden met één enkele as om te controleren of alle processtappen in de juiste volgorde doorlopen worden,
- getest worden met twee opeenvolgende assen om de opvolgtijdelijkheid van de processtappen te controleren,
- getest worden met meerdere assen om de voorspelde timing te controleren,
- getest worden op vollast om de winst in taktijd te kunnen evalueren;

Aanvullende kleinere tests moeten details in de sturing verder verfijnen om een correctie visualisatie van de sturing te verwezenlijken. Omdat de infrastructuur en de visualisatie van de sturing beheerd wordt door de externe firma Fabricom van de Engie Group, gebeurt dit in samenspraak met een service engineer van deze firma. Structurele aanpassingen in de sturing kunnen in de tussentijd reeds gebeuren. De middelen zijn hiervoor beschikbaar bij ingenieurs en technici in de fabriek van DAF.

4.2.2. Optie 2: Verkorten van de sproeitijd

Een tweede mogelijkheid tot verbetering vindt zich in één van de processtappen, namelijk het sproeiproces. In de huidige situatie wordt de as in elke cabine gedurende 50 seconden besproeid met een detergent, water of demi-water. Ingenieurs en operatoren houden deze procesduur reeds 10 jaar aan en er zijn slechts enkele types assen die zo lang zijn aangehouden. Na 10 jaar aanpassingen aan de globale proceslijn in de assenlakstraat, montage en fabricage heerst de vraag of de volledige sproeitijd nog steeds nodig is en of deze niet kan verkort worden door kleine aanpassingen in de sproeidruk of concentraties van de sproeimiddelen.

Door het tekort aan informatie kunnen de mogelijkheden tot het verkorten van de sproeitijd in dit project niet verder uitgewerkt worden. Aan het centraal labo van DAF Trucks N.V. in Eindhoven wordt de vraag gesteld of het mogelijk is om de sproeitijd te verminderen met 20% tot een tijd van 40 seconden. Dit levert 10 seconden winst op de taktijd van de voorbehandeling.

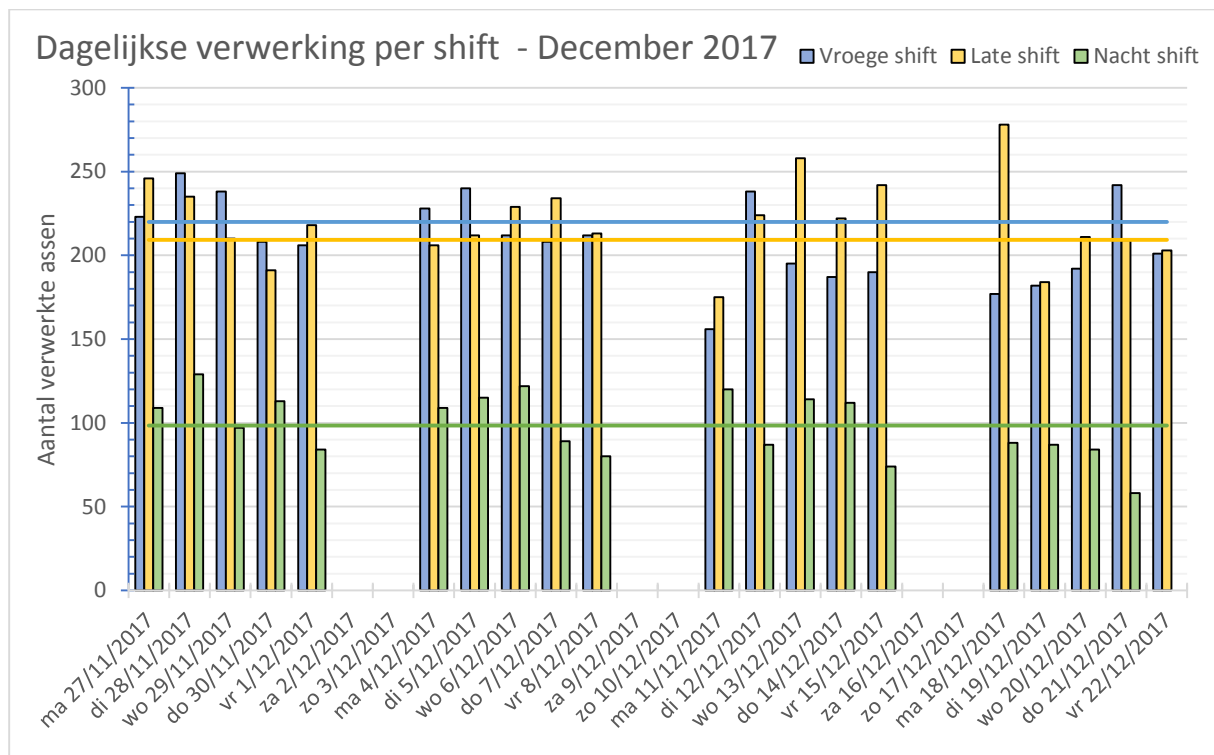
5. Implementatie

5.1. Oplossen van herhaaldelijke storingen

Uit onderzoek blijkt dat een groot deel van de stilstandtijden veroorzaakt worden door een defecte printplaat in de sturing van de lakrobots. ABB Robotics heeft de printplaat vervangen en enkele aanpassingen gemaakt in de sturing om dergelijke fouten in de toekomst te voorkomen.

Een tweede veelvoorkomende storing bevindt zich in het draaiplatform van het intakelstation. Door het ontbreken van een logboek in de sturing kan de oorzaak niet achterhaald worden. Er worden plannen opgesteld om door de beheerder van de installatie, Engie Fabricom, een logboek bij te houden om storingsboodschappen en in- en uitgaande signalen te registreren. Na een periode van enkele weken zal dit logboek uitgelezen worden en de geregistreerde storingen gediagnosticeerd en gerepareerd worden.

Andere storingen bevinden zich verspreid over de installatie en komen vaak slechts eenmaal voor. De meest voorkomende defecten worden veroorzaakt door slijtage van onderdelen of door menselijke fouten bij onderhoudswerkzaamheden.



Figuur 7: Dagelijkse productie van assen per shift in december 2017

Figuur 7 toont de dagelijkse productie van assen per shift na het oplossen van de herhaaldelijk geregistreerde storingen. De lijnen die het gemiddelde van elke shift aanduiden zijn slechts licht gestegen t.o.v. de vorige meting, maar uit bevestigingen bij de arbeiders blijkt dat het aantal stilstanden drastisch verminderd is. Dit impliceert dat de stijging in de productie niet meer beperkt wordt door stilstanden, maar op de afstelling van de assenlakstraat op de andere fabricagelijnen. Omdat er geen ruimte is voor buffering tussen de verschillende sectoren, worden fabricage en lakstraat nauwkeurig op elkaar afgestemd. Een correcte meting kan dus alleen uitgevoerd worden wanneer de lakstraat op vol vermogen belast wordt door de fabricagelijnen.

5.2. Spuitcabine

Een verbetering van de spuitcabine kan ten tijde van dit project niet geïmplementeerd worden. Optie 1 duidt erop dat een wijziging in de programmastructuur niet haalbaar is door structurele beperkingen. De initiële testen, waarbij de werking van de spuitprogramma's op de hogere kettingsnelheid getest werden, wijzen uit dat de het bereik van de robot niet voldoende is om de bewerkingsstappen tijdig af te ronden. Ook singuliere punten treden vaak op. Op 70% van de geteste spuitcodes traden deze fouten op.

Optie 2, waarbij de infrastructuur uitgebreid wordt, wordt nog besproken met de beheerder van de infrastructuur ABB Robotics. Er zijn reeds plannen om een tweede opstelling van robots te installeren in cabine 1, waar de huidige opstelling zich bevindt in cabine 2. Over deze plannen zijn nog geen concrete uitwerkingen bekend en de implementatie wordt pas geschat op het jaar 2019.

De instelling van deze nieuwe set robots zal bepaald worden a.d.h.v. de taktijden van de overige eenheden in de proceslijn. Hiermee willen de ingenieurs bij DAF voorkomen dat de spuitcabine onmiddellijk weer de eerstegraads bottleneck in de nabije toekomst kan vormen.

5.3. Voorbehandeling

Optie 1 van de verbetering van de voorbehandeling kon door technische problemen ten tijde van deze scriptie nog niet getest worden. Omwille van de weinige openingen in de agenda's van begeleiders, operatoren en de beschikbaarheden van de eenheid konden de testen pas plaatsvinden in week 1 van 2018. Tijdens de testen kwamen problemen voor waarbij de ingestelde waarden (temperatuur, luchtvochtigheid, taktijden), gewist werden bij het inladen van een nieuw programma. Door een fout in de interface konden deze waarden niet opnieuw ingesteld worden en was een interventie van een service engineer van Engie Fabricom nodig om de installatie opnieuw op te starten. Na deze interventie was er geen tijd meer om de test af te ronden omdat er ook onderhoudswerkzaamheden gepland stonden later op de dag.

Het testen van de nieuwe sturing staat gepland voor het voorjaar van 2018 waarna de rendabiliteit wordt geëvalueerd.

Optie 2 van de verbetering wacht nog respons af van het centraal labo bij DAF Trucks in Eindhoven. Uit de resultaten van dat onderzoek moet wijzen of een verkorting van de sproeitijd met 20% mogelijk is.

Indien beide opties van de verbetering haalbaar zijn en geïmplementeerd worden, kan de taktijd van de voorbehandeling gereduceerd worden tot 75 seconden per as. Dit levert een marge op van 10,4 seconden per as t.o.v. de norm en brengt de voorbehandeling op een gelijke taktijd met lakoven 1. Zie Tabel 1.

5.4. Globale simulatie

Na implementatie van alle bovenstaande oplossingen kan de taktijd van de assenlakstraat gereduceerd worden tot 74,5 seconden per as. Deze ligt ruim onder de norm van 85,4 seconden per as opgelegd met dit project en houdt een marge over van 10,4 seconden per as. In deze simulatie wordt geen rekening gehouden met de manuele posten. Door het gebrek aan een arbeidsanalist, kan de capaciteit van deze posten niet geverifieerd worden, en zijn mogelijk verdere optimalisaties nodig om de nieuwe norm te kunnen behalen.

De nieuwe taktijd, met de manuele posten buiten beschouwing gelaten, levert een maximale productie op van 336 assen per shift van 7 uur. Bij het opgestelde regime van 2 shiften van 7 uur per dag levert dit een dagproductie op van 672 assen.

6. Conclusie

Met het vooruitzicht naar een dagproductie van 590 assen over twee shiften van 7 uur vormen twee onderdelen in de proceslijn van de assenlakstraat een bottleneck. Hier is geen rekening gehouden met de manuele posten in de proceslijn.

De eerste graad bevindt zich in de spuitcabine met een gemiddelde taktijd van 94,4 seconden per as. Na testen werd duidelijk dat optimalisatie van deze eenheid niet mogelijk was zonder uitbreiding van de infrastructuur. In 2019 wordt de spuitcabine uitgebreid met een tweede set robots die zich in cabine 1 zullen bevinden. Deze uitbreiding wordt ontworpen door externe firma ABB Robotics, met het oog op toekomstige uitbreidingen zonder dat de spuitcabine snel terug de eerstegraads bottleneck vormt.

De tweede graad bevindt zich in de voorbehandelingseenheid met een taktijd van 89 seconden per as. Optimalisatie is mogelijk door het wijzigingen van de processtructuur waarbij dode tijden geëlimineerd worden. Om dit te realiseren moet het programma in de PLC-sturing aangepast worden om de werking van de cabines, deuren, stoppers en pompen te individualiseren. Dit levert een vermindering in de taktijd van 4,5 seconden op en resulteert in een taktijd van 84,5 seconden. Door technische problemen tijdens het opstarten van de testen, kan de nieuwe taktijd alleen theoretisch gesimuleerd worden. Nieuwe testen worden gepland in het voorjaar van 2018

Een tweede vorm van optimalisatie is mogelijk door het verkorten van de sproeitijd van 50 seconden naar 40 seconden. De mogelijkheden hierrond worden onderzocht door centraal labo van DAF Trucks in Eindhoven. Deze verkorting levert in combinatie met de wijziging in de sturing een taktijd op van 74,5 seconden per as. Ook dit is enkel een simulatie tot het effect van de eerste optimalisatie geverifieerd is.

Implementatie van bovenstaande verbeteringen levert een geschatte taktijd van 74,5 seconden per as. Dit houdt een marge van 10,9 seconden onder de vooropgestelde taktijd van 85,4 seconden per as in de eisen van het project.

De nieuwe taktijd geeft de mogelijkheid tot een productie van 336 assen per shift van 7 uur, of 672 assen per dag over twee shiften van 7 uur. Hier worden de manuele posten voorlopig buiten beschouwing gelaten. Dit levert een marge van 82 assen per dag t.o.v. de eisen vooropgesteld in dit project.

Literatuurlijst

- [1] „DAF Trucks N.V.,” 2017. [Online]. Available: www.daf.be/nl-be/about/daf-trucks-nv. [Geopend 6 december 2017].
- [2] Audubon Companies, „Debottlenecking: What is it and how can it help optimize downstream processes,” 21 Augustus 2014. [Online]. Available: <http://www.auduboncompanies.com/debottlenecking-what-it-is-and-how-it-can-help-optimize-downstream-processes/>. [Geopend 15 November 2017].
- [3] DAF Trucks N.V., „Capaciteit lakstraat.xls,” 2009.
- [4] DAF Trucks N.V., „DAF investeert 100 miljoen euro in nieuwe lakstraat Westerlo,” 1 september 2015. [Online]. Available: <http://www.daf.be/nl-be/news-and-media/news-archive/articles/global/2015/q3/01-09-2015-daf-invests-eur-100-million-in-new-westerlo-paint-shop>. [Geopend 6 december 2017].

Bijlagen

Bijlagenlijst

Bijlage 1: Tabel met gemeten cyclustijden en frequentie per spuitcode, onderverdeeld in de respectievelijke types

Bijlage 1: Tabel met gemeten cyclustijden en frequentie per spuitcode, onderverdeeld in de respectievelijke types

Type 1				Type 2				Type 3			
Progr	Freq	Rob.	Rob.	Progr	Freq	Rob. 1	Rob. 2	Progr	Freq	Rob. 1	Rob. 2
		1	2			1	2			1	2
101	76	82,85	78,83	102	1	86,02	75,84	126	107	86,29	72,62
103	628	82,77	78,76	120	71	88,80	78,95	130	21	107,89	83,70
140	2070	82,74	78,72	129	140	82,92	78,70	132	8	92,48	0,04
141	71	82,85	78,81	131	23	102,25	82,28	156	35	109,12	108,68
210	59	80,10	67,72	138	226	88,28	79,04	157	27	110,16	108,50
400	1989	71,24	76,97	166	66	98,99	97,80	200	59	92,68	61,77
401	217	71,27	76,61	175	56	83,30	76,87	999	14	25,98	16,30
409	16	73,37	76,59	180	5	94,32	70,89				
410	29	71,37	74,11	901	109	89,92	67,64				
411	30	70,86	74,11	940	6	93,30	66,76				
412	2	71,29	74,20	945	42	93,36	66,79				
413	2	71,39	74,24	946	79	90,29	67,76				
420	248	75,31	76,61								
421	7	76,85	79,97								
422	7	75,94	76,83								
423	2	76,92	79,95								
430	70	73,54	76,78								
431	106	73,49	77,11								
460	83	72,93	79,13								
461	57	70,32	76,35								
470	25	72,33	74,05								
471	10	71,42	75,21								
508	342	73,15	66,38								
509	85	73,76	65,77								
510	85	72,98	65,77								
511	166	72,14	65,67								
652	39	74,74	63,19								
653	190	77,86	63,40								
703	2	73,62	72,65								
705	39	74,53	80,14								
706	13	79,04	80,95								
804	8	73,32	76,81								
807	6	73,25	76,60								
851	1	71,70	75,48								
852	34	72,31	72,86								
990	6	38,06	42,55								

Maximum:		82,85	80,95			102,25	97,80			110,16	108,68
Som:	6820				824				271		
Relatieve frequentie:	86,17%				10,41%				3,42%		

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Optimalisatie van een bestaande proceslijn d.m.v. een debottlenecking op meerdere graden

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2018**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Costantino, Nick

Datum: **14/01/2018**