

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

Masterthesis

Herontwerp en implementatie van inpaklijn voor RVS coils

PROMOTOR :

ir. Gert VANHEES

PROMOTOR :

Dhr. Jochen BARTELS

COPROMOTOR :

Dhr. Lars ANTONISSEN

Niels Rome

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



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

Herontwerp en implementatie van inpaklijn voor RVS coils

PROMOTOR :

ir. Gert VANHEES

PROMOTOR :

Dhr. Jochen BARTELS

COPROMOTOR :

Dhr. Lars ANTONISSEN

Niels Rome

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



KU LEUVEN

Woord vooraf

De masterproef vond plaats bij Aperam Services & Solutions te Genk gedurende de periode van 25 september 2017 tot 22 juni 2018. Als masterproef werd onderzoek gedaan naar het optimaliseren en automatiseren, in de vorm van een herontwerp, van een inpaklijn die voldoet aan de gewenste productiecijfers.

Ten eerste wil ik mijn externe promotor de heer J. Bartels bedanken voor de goede feedback en begeleiding. Verder wil ik hem ook bedanken om mij de kans te geven dit eindwerk af te leggen binnen Aperam.

Ten tweede wil ik graag de heer L. Antonissen bedanken voor zijn goede feedback doorheen de hele stage.

Vervolgens wil ik mijn interne promotor de heer Ir. G. Vanhees bedanken voor het nodige advies en de bijstand tijdens het eindwerk.

Ten slotte wil ik ook het technisch team van Aperam bedanken. Zij hebben mij goede adviezen gegeven en stonden altijd klaar wanneer ik vragen had.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	1
Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren.....	7
Abstract.....	9
Abstract in English.....	11
1 Inleiding	13
1.1 Bedrijf.....	13
1.2 Situering	14
1.2.1 Huidige installatie.....	14
1.2.2 Grondplan huidige installatie.....	20
1.3 Probleemstelling.....	21
1.4 Methode.....	21
2 Flessenhals.....	22
2.1 Tijdsmeting/onderzoek.....	22
2.2 Bespreking Pijnpunten (deelmachines).....	23
2.3 Conceptoplossingen.....	23
3 Uitgewerkte verbetervoorstellen	25
3.1 Horizontale strapping machine	25
3.2 Verticale strapping machine	29
3.3 Bevestigingsmachine.....	29
3.3.1 Draaitafel.....	30
3.3.2 Geleidingsconstructie bindkop.....	33
3.4 Inpakmachine.....	35
4 Potentiele uitbereidingen in automatisatie inpaklijn.....	39
4.1 Palletmachine.....	39
4.2 Balkjesrobot/dispenser	40
5 Globaal ontwerp en analyse van de geautomatiseerde inpaklijn.....	41
5.1 Nieuw 3D-modelinpaklijn	41
5.2 Nieuwe tijdsanalyse.....	42
5.3 Kostenraming.....	43
6 Besluit	44
Literatuurlijst.....	45

Lijst van tabellen

Tabel 1: Operationele tijdsanalyse inpaklijn 2017	22
Tabel 2: KPI's Horizontale strapping machine	28
Tabel 3: Operationele tijdsanalyse inpaklijn 2017 vs. toekomst	42
Tabel 4: Kostenprijsberekening herontwerp	43

Lijst van figuren

Figuur 1: Logo Aperam.....	13
Figuur 2: Coilkar B1SL.....	14
Figuur 3: Uitvoerdraaikruis B1SL.....	15
Figuur 4: Dichtgebonden Coils.....	15
Figuur 5: Doorvoerkar.....	16
Figuur 6: Bufferdraaikruis	16
Figuur 7: Kanteltafel	17
Figuur 8: Bindmachine	17
Figuur 9: Stapelkraan	18
Figuur 10: Inpaktafel	18
Figuur 11: Stockageruimte.....	19
Figuur 12: Grondplan Slitteen- en inpaklijn september 2017.....	20
Figuur 13: Voorstel 1 horizontale strapping machine.....	24
Figuur 14: Voorstel 2 horizontale strapping machine.....	24
Figuur 15: Horizontale strapping machine.....	25
Figuur 16: Bindkop titan K8000[3].....	26
Figuur 17: Strapband met las.....	26
Figuur 18: Strapband met kartonnen plaatje over braam op het einde van de coil.....	27
Figuur 19: Karton plaatser	27
Figuur 20: Karton Houder	27
Figuur 21: Implementatie van horizontale strapping machine	28
Figuur 22: Rollenbaan met uitsparing aan beide kanten	29
Figuur 23: Bevestigingsmachine	30
Figuur 24: 3D ontwerp draaitafel.....	31
Figuur 25: Equivalent schema opgelegde rol	31
Figuur 26: Geleidingsconstructie bindkop	33
Figuur 27: Geleidingsmodule.....	34
Figuur 28: Inpakmachine	36
Figuur 29: Klaplager [7]	36
Figuur 30: Klaplager met remschijf.....	36
Figuur 31: Houder met axiaal en radiaal lager	37
Figuur 32: Stappenplan vervangen folierol	37
Figuur 33: Voorstel integratie palletrobot in inpaklijn	39
Figuur 34: Transportband onder huidige rollenbaan.....	40
Figuur 35: Positionering tussenbalkjes	40
Figuur 36: Uitgewerkt 3D-model Inpaklijn	41

Abstract

In opdracht van Aperam Services & Solutions te Genk is er een studie en herontwerp van een inpaklijn uitgevoerd. Aperam is een bedrijf dat roestvast staal produceert en verwerkt. De afdeling waar deze masterproef plaatsvond herwerkt coils tot platen of kleinere coils. Het doel van deze masterproef was het in kaart brengen van de efficiëntie-verliezen en het uitwerken van verbeteringen aan deze flessenhals in het productieproces.

In een eerste fase werd door middel van tijdsmetingen bepaald waar de problemen zich precies bevonden binnen de inpaklijn, die uit meerdere deelprocessen bestaat. Verder werd geanalyseerd hoeveel arbeidskrachten en materialen nodig zijn voor deze deelprocessen. Uit deze twee analytische stappen bleek dat de problemen zich situeerden bij de volgende manuele processen: het horizontaal strappen van een coil, het bevestigen van een coil aan een pallet en het inpakken van een coil voor verzending. Vervolgens werd voor elk van deze deelproblemen een herontwerp gemaakt door mezelf of een extern bedrijf. Het ontwerp van een horizontale strapping machine werd voltooid en wordt reeds geïmplementeerd in de huidige inpaklijn. Verder werden ook nog enkele conceptuele uitbreidingen voorgesteld die het inpakproces kunnen optimaliseren. Ten slotte werd een 3D- model gemaakt van de nieuwe inpaklijn als visualisatie van het herontwerp.

De tijdsanalyse van het herontwerp toont aan dat er twee arbeidskrachten kunnen verminderd worden aan het inpakproces en dat de inpakcapaciteit kan verdubbelen.

Abstract in English

Commissioned by Aperam Services & Solutions in Genk, a study and redesign of a packaging line has been carried out. Aperam is a company that produces and processes stainless steel. The department where this master's thesis took place reworked coils into plates or smaller coils. The aim of this master's thesis was to map the efficiency losses and make improvements to this bottleneck in the production process.

In a first phase, time measurements were used to determine where the problems were exactly situated within the packaging line, which consists of several sub-processes. Furthermore, it was analyzed how many workers and materials are needed for these sub-processes. These two analytical steps showed that the problems were situated in the following manual processes: horizontal strapping of a coil, attaching a coil to a pallet and packing a coil for shipment. Then, for each of these partial problems, a redesign was made by myself or an external company. The design of a horizontal strapping machine was completed and is already being implemented in the current packing line. In addition, a number of conceptual extensions were proposed that could optimize the packaging process. Finally, a 3D model was made of the new packaging line as a visualization of the redesign.

The time analysis of the redesign shows that two workers can be reduced to the packaging process and that the packaging capacity can double.

1 Inleiding

1.1 Bedrijf

APERAM is de zevende grootste roestvaststaalproducent in de wereld. De firma levert hoogwaardige producten, inclusief elektrisch staal (staal met speciale magnetische eigenschappen gebruikt bij transformatoren) en nikkellegeringen.

De productie is gespreid over zes filialen in België, Frankrijk en Brazilië. De organisatie bestaat uit achttien service centers, negen omvormingsbedrijven en tweeëntwintig verkoopkantoren. Het bedrijf verkoopt zijn producten in meer dan dertig landen.

APERAM bestaat uit drie divisies:

- ❖ Stainless & Electrical Steel;
- ❖ Services & Solutions;
- ❖ Alloys & Specialties.



Figuur 1: Logo Aperam

Stainless & Electrical Steel produceert het roestvast staal. Deze divisie is het grootste deel van APERAM en bestaat uit zes filialen waarvan vijf in Europa en één in Brazilië. Eén van deze filialen bevindt zich in Genk. Deze site stond vroeger bekend als ALZ.

Het filiaal waar deze masterproef is uitgevoerd, is een Services en Solutions divisie van APERAM te Genk. Hier wordt het staal verder bewerkt naar wens van de klant. De behandelingen die hier gedaan worden op de roestvaste staalplaten zijn:

- polijsten;
- in breedte snijden (slitten);
- op lengte knippen;
- wikkelen op coils (rollen).

Andere servicecentra zijn te vinden in Duistland, Polen, Italië, ...

De laatste divisie van APERAM is, zoals hierboven vermeld, Alloys & Specialties. Deze divisie bestaat uit één enkel filiaal, gelegen in Imphy (Frankrijk). Hier werken ze met speciale legeringen[1][2].

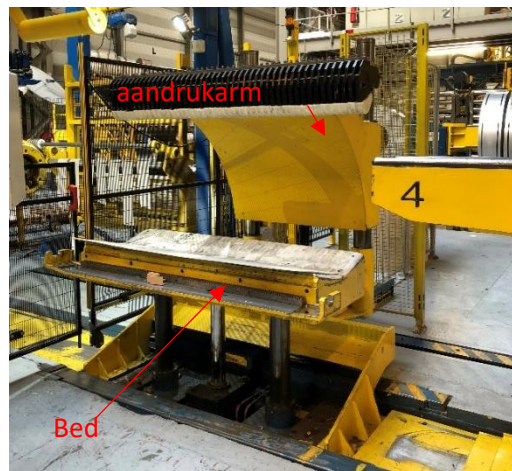
1.2 Situering

Het service center in Genk bevat twee breedtescharen, B1SL en B2SL. Een breedteschaar is een productie-installatie die een coil opdeelt in smalle banden (dunne coils). Deze twee productielijnen bezitten een gemeenschappelijke inpaklijn. Door de stijgende vraag naar banden is de B1SL vernieuwd waardoor de productie van 68000 ton in 2017 zal stijgen tot 80000 ton in 2018, een productiestijging van 23%, verdeeld over de twee productielijnen. Deze stijging kan enkel behaald worden indien de gemeenschappelijke, aansluitende inpaklijn ook deze capaciteit aankan. Het inpakproces gaat als volgt.

1.2.1 Huidige installatie

1. Uitvoer van productielijn

Het uitvoeren van het geproduceerde materiaal gebeurt aan de hand van een coilkar (zie Figuur 2). Deze kar bezit een op hoogte verstelbaar bed dat de coils omhoog duwt zodat deze vrijkomen van de ophaspelarm. Er is ook een aandrukarm voorzien die op de bovenkant van de coils drukt zodat ze niet loskomen alvorens ze zijn dichtgebonden. Hierna schuift de kar uit de productiemachine en zo naar het volgende onderdeel, het draaikruis.



Figuur 2: Coilkar B1SL

2. Uitvoerdraaikruis (buffer)

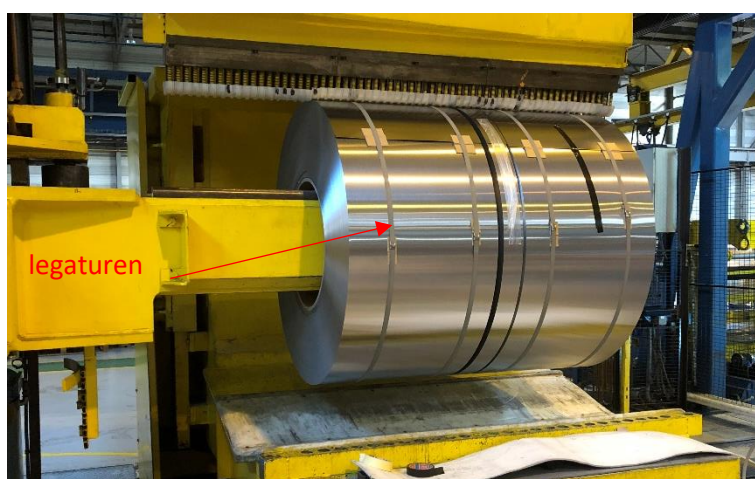
Figuur 3 toont een draaikruis, een constructie met vier armen (kruis). Op elk van deze armen kunnen geproduceerde coils worden gehangen via de coilkar. Het kruis kan ronddraaien voor verdere oriëntatie naar aanvang van volgende stap. Het draaikruis wordt tevens gebruikt als buffer.



Figuur 3: Uitvoerdraaikruis B1SL

3. Dichtbinden coils rond omtrek

In het eerste inpakproces binden twee operatoren de coils langs de omtrek dicht met een kunststof of metalen legatuur (zie Figuur 4), waardoor de coil niet kan ontrollen doorheen de inpaklijn. De legatuurmachine of coildichtbindmachine brengt een groot veiligheidsrisico met zich mee vanwege het “springeffect”. Het springeffect komt voor als een legatuur knapt en de coil ontrolt door materiaalspanning. Het dichtbinden wordt gedaan voor elk coil die uit de productie komt. Als de coil te zwaar is voor het inpakproces kan de coil na het dichtbinden ook geëvacueerd worden naar het magazijn met behulp van een C-haak en de rolbrug. Deze H-coil wordt op een horizontale (de axiale as van de coil ligt horizontaal) manier verscheept.



Figuur 4: Dichtgebonden Coils

4. Doorvoerkar

Een kar (zie Figuur 5) zorgt ervoor dat de coils van de bufferkruizen van de productielijnen kunnen worden afgenomen en verplaatst richting het bufferkruis van de inpaklijn. Deze kar werkt volgens hetzelfde principe als de coilkar.



Figuur 5: Doorvoerkar

5. Invoerdraaikruis inpaklijn (buffer)

Het draaikruis (zie Figuur 6) is identiek aan het uitvoerdraaikruis, maar zonder aandrukarm.



Figuur 6: Bufferdraaikruis

6. Kanteltafel

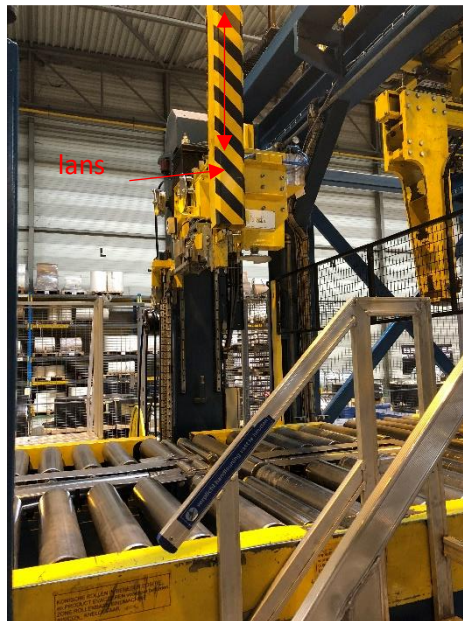
De kanteltafel (zie Figuur 7) is een rollentafel die kan kantelen van horizontale naar verticale stand. In de rollentafel bevindt zich een haak die zich kan verplaatsen naar een arm van het draaikruis. Deze haak schuift in een arm waarna deze een coil kan inhaken. Door de instelbare diepte van de haak kan er precies één coil per keer worden afgenomen waarna hij wordt platgelegd voor verder transport.



Figuur 7: Kanteltafel

7. Bindmachine

De bindmachine bestaat uit een lans die door het midden van de coil wordt geleid. Door deze lans (zie Figuur 8) zal een kunststof legatuur aangevoerd worden. Na verder aantrekken van de legatuur tot de juiste spanning en lassen door wrijving, wordt de coil 90 graden gedraaid waarna het proces weer opnieuw start. Dit wordt herhaald tot er maximaal vier legaturen zijn gespannen. Het aantal legaturen is afhankelijk van de opdracht. Vanaf dit moment in het inpakproces zit de coil volledig vast en kan deze op geen enkele manier ontrollen.



Figuur 8: Bindmachine

8. Stapelkraan

De kraan bestaat uit een doorn (zie Figuur 9) die in een coil zakt en daarna uitzet zodat deze zich opspant. Hierna klemmen nog twee armen tegen de buiten- en onderzijde van een coil voor betere grip tijdens het herpositioneren van een coil. Het uiteindelijke doel van de stapelkraan is een coil op een bijhorende pallet te plaatsen.



Figuur 9: Stapelkraan

9. Bevestiging aan pallet

De coil wordt met legaturen vast gemaakt aan de pallet en eventueel ingepakt met een polypropyleen mat of plastic voor extra bescherming. Deze handelingen gebeuren volledig handmatig. Er zijn verschillende afmetingen van palletten die gebruikt kunnen worden. Figuur 10 geeft de huidige inpaktafel weer waar de palletten met de heftruck worden op geplaatst.



Figuur 10: Inpaktafel

10. Ontruimen inpaktafel en verplaatsen naar opslag

Met behulp van een heftruck worden de afgewerkte palletten verplaatst naar de stockageruimte. Figuur 11 geeft de stockageruimte weer.



Figuur 11: Stockageruimte

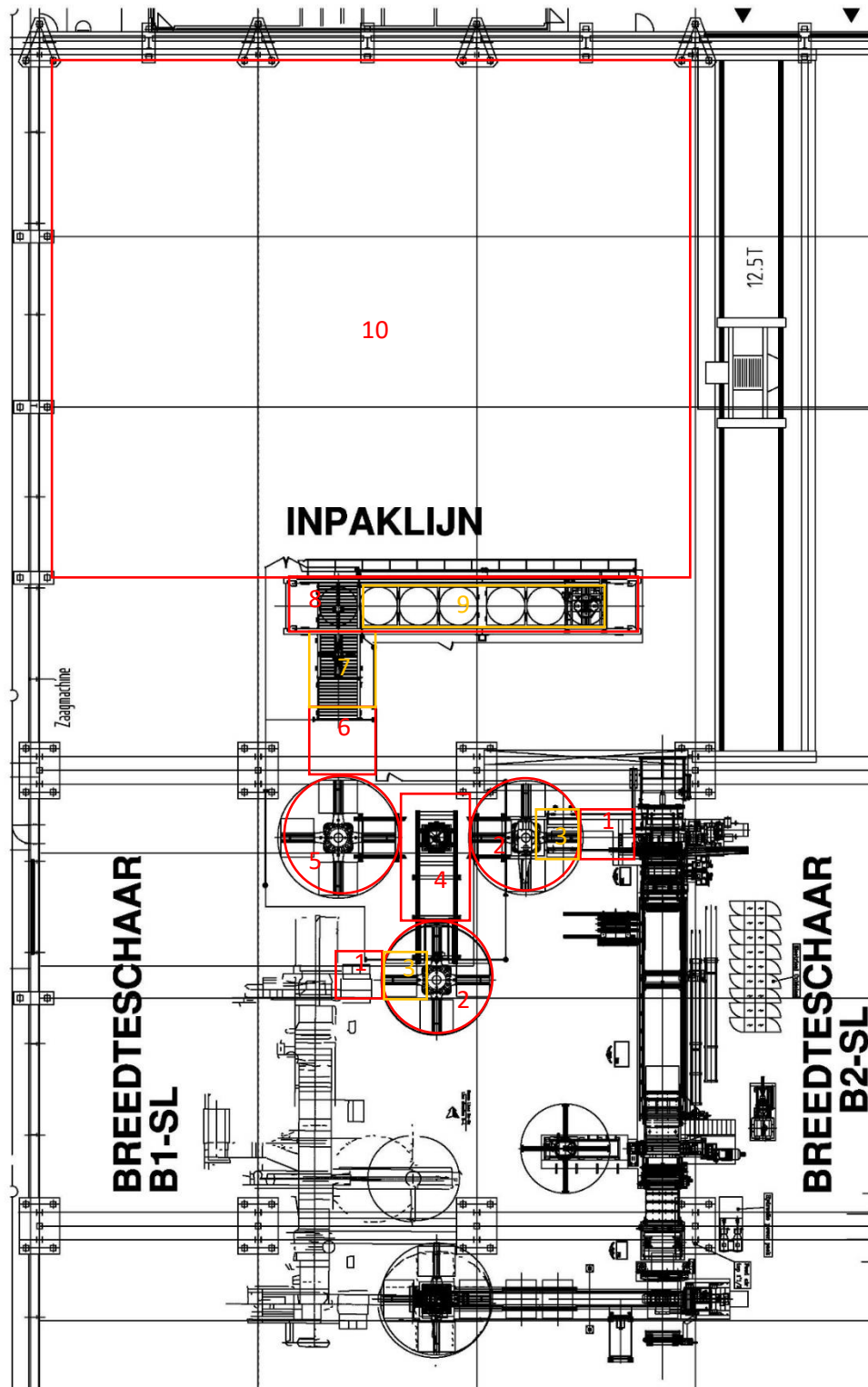
Opmerking:

Het kan zich voordoen dat van een coil (H-coil) alleen de randen worden geknipt en dan verder wordt verdeeld op totale lengte. Deze half afgewerkte coil wordt op het draaikruis volledig ingepakt en dan met de rolbrug verplaatst naar de opslagruimte. Dit product gaat dus niet door de bovenvermelde inpaklijn.

Elk van bovenstaande punten zijn ook aangeduid op een plattegrond voor een overzicht te hebben van de situering binnen de fabriek.

1.2.2 Grondplan huidige installatie

Figuur 12 geeft de situatie van de inpaklijn weer van September 2017.



Figuur 12: Grondplan Slitteen- en inpaklijn september 2017

1.3 Probleemstelling

Het probleem doet zich voor aan de inpaklijn van geslitten coils. Doordat er twee productielijnen samenkomen in één inpaklijn, wordt hier een flessenhals gecreëerd aangezien de productiesnelheid hoger ligt dan de inpaksnelheid. Het volledige verpakkingsproces zoals vermeld in sectie 1.2.1 beschrijft welke stappen moeten doorlopen worden voor dat het product klaar is voor verzending. Veel van deze stappen worden manueel uitgevoerd of semiautomatisch door een machine, maar niets gebeurt volledig automatisch. Er werken gemiddeld zes à zeven FTE's aan dit proces. FTE staat voor Full Time Equivalent waarmee een voltijds angeworven arbeidskracht wordt aangegeven. Het nadeel van een FTE is dat deze onbetrouwbaar, ziek, enz. kan zijn waardoor het productieproces verstoord kan worden.

1.4 Methode

Als eerste is het belangrijk om de huidige inpaklijn te bestuderen en na te gaan op welke manier het product wordt ingepakt voor specifieke klanten. Hieruit volgt dat het inpakproces kan opgedeeld worden in kleinere deelprocessen. Voor elk van deze deelprocessen worden volgende aspecten bekeken om te bepalen hoe groot hun aandeel is van het volledige proces.

- tijdsbestek per deelproces (buffertijd, inpaktijd en transporttijd);
- aantal operatoren;
- soort inpakmateriaal;
- stockageruimte van producten binnen de fabriek;
- aantal handelingen per deelproces.

Vervolgens wordt voor de voornaamste pijnpunten een onderzoek gedaan naar nieuwe technieken of andere mogelijkheden om hun proces te verbeteren. Het onderzoek naar deze mogelijkheden bestaat uit het contact opnemen met machinefabrikanten om hun een voorstel te laten doen. De voorstellen worden naderhand geanalyseerd door volgende aspecten na te gaan:

- de compatibiliteit met huidige inpaklijn;
- de inbouwmogelijkheden;
- de materiaalkeuze;
- de service na verkoop;
- de prijs.

Tijdens de gesprekken met de machinefabrikanten wordt een 3D model gemaakt van de huidige situatie. Dit model kan dienen als een extra verduidelijking naar de fabrikanten toe. Voor de andere pijnpunten wordt zelf een ruw ontwerp uitgewerkt met algemene sterkteberekeningen van de grootste componenten. Van al de oplossingsmogelijkheden wordt dan een 3D model gemaakt waarna deze geïmplementeerd worden in het oorspronkelijke 3D model van de huidige installatie. Aan de hand van het complete model kan de lay-out van de vernieuwde processtappen verduidelijkt worden.

Als laatste wordt een geschatte tijdsberekening en kostenraming uitgewerkt van de vernieuwde inpaklijn.

In hoofdstuk 2 wordt de manier besproken hoe de pijnpunten zijn gesitueerd en worden de verbetermogelijkheden kort besproken. Het hoofdstuk daarna gaat dieper in op de gekozen oplosmogelijkheden. Verder in dit eindwerk worden nog enkele uitbereidingen behandeld die een verdere automatisatie van de inpaklijn toestaan. Uiteindelijk wordt het globaal ontwerp geanalyseerd.

2 Flessenhals

2.1 Tijdsmeting/onderzoek

Aan de hand van een tijdsmeting van het inpakproces is het mogelijk de pijnpunten nauwkeuriger te lokaliseren. Deze meetgegevens komen voort uit de vooraf gekende cyclustijden en handmatig gemeten cyclustijden. Tabel 1 geeft de tijd en het aantal FTE's weer van elk deelproces van één band en van tien banden gedurende het hele inpakproces. Bij deze tijdsanalyse is gekozen voor stapelkraanpositie 3 omdat deze overeenkomt met de gemiddelde afstand dat de stapelkraan aflegt.

Tabel 1: Operationele tijdsanalyse inpaklijn 2017

Operationele tijdsanalyse inpak		1	10	
Stap	Processen inpaklijn	tijd (s)	tijd (s)	aantal FTE's (#)
1	uitvoerkar	30	30	2
2	horizontaal dichtbinden (manueel)	30	300	
3	samenbinden bandjes door het oog	60	60	
4	draaikruis (1/4 tr)	30	30	
5	draaikruis (1/4 tr)	30	30	
6	overzetwagen	300	300	
7	rolbrug en C-haak			1
8	draaikruis (1/4 tr)	30	30	1
9	platleggen	60	825	
10	transport	5	5	
11	wegen	5	5	
12	transport	5	5	
13	verticaal dichtbinden	85	85	
14	transport	10	10	1
15	stapelkraan positie 1	40	40	
	stapelkraan positie 2	50	50	
	stapelkraan positie 3	60	60	
	stapelkraan positie 4	70	70	
	stapelkraan positie 5	80	80	
	stapelkraan positie 6	90	90	
16	inpakken (manueel)	240	2400	1
17	tussenbalkjes plaatsen	40	400	
18	bevestigen aan pallet (manueel)	300	3000	
	Totaal aantal seconden	1320	7575	6
	Totaal aantal minuten	22	126,25	

Van stap 1 tot en met stap 8 blijven de banden samen die uit één coil worden geproduceerd. Vanaf stap 9, weergegeven in blauw, doorlopen de banden één voor één de rest van het inpakproces. De tijd voor deelproces 9 wordt bepaald door de tijd van de tot nu toe automatische deelprocessen die hierop volgen, namelijk stap 10 tot en met stap 15. Hierbij heeft deelproces 13, het verticaal dichtbinden, de meeste tijd nodig om doorlopen te worden. Het eerste automatisch deelproces, proces 9, moet dus afgestemd worden op deze tijd zodat om de 85 seconden een nieuwe band aan deelproces 13 kan beginnen. De totale tijd die nodig is voor dat laatste band proces 9 verlaat bedraagt 825 seconden, deze waarde is bekomen door 60 seconden van de eerste band op te tellen bij 85 seconden van de volgende banden. Van stap 16 tot en met stap 18 wordt alles handmatig uitgevoerd.

In het rood zijn de pijnpunten aangegeven die een zeer grote invloed hebben op de totale inpaktijd. De tijden van volgende processen stijgt recht evenredig met het aantal banden dat er moeten verwerkt worden door het proces:

- Horizontaal dichtbinden;
- Verticaal dichtbinden;
- Inpakken met inpakmateriaal;
- Bevestigen aan een pallet.

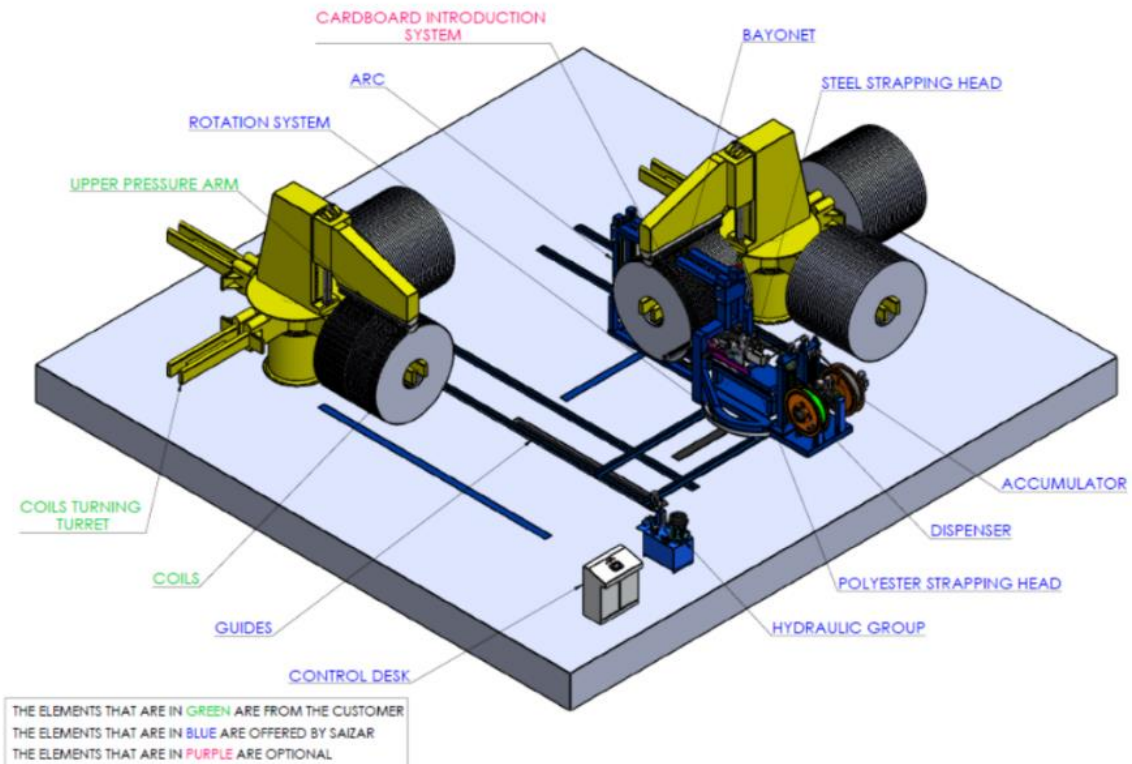
Stap 17 wordt niet meteen als een pijnpunt gezien omdat dit niet bij elk inpakproces voorkomt. Het inpakproces voor een coil die verdeeld is in tien banden duurt ongeveer 126 minuten.

2.2 Bespreking Pijnpunten (deelmachines)

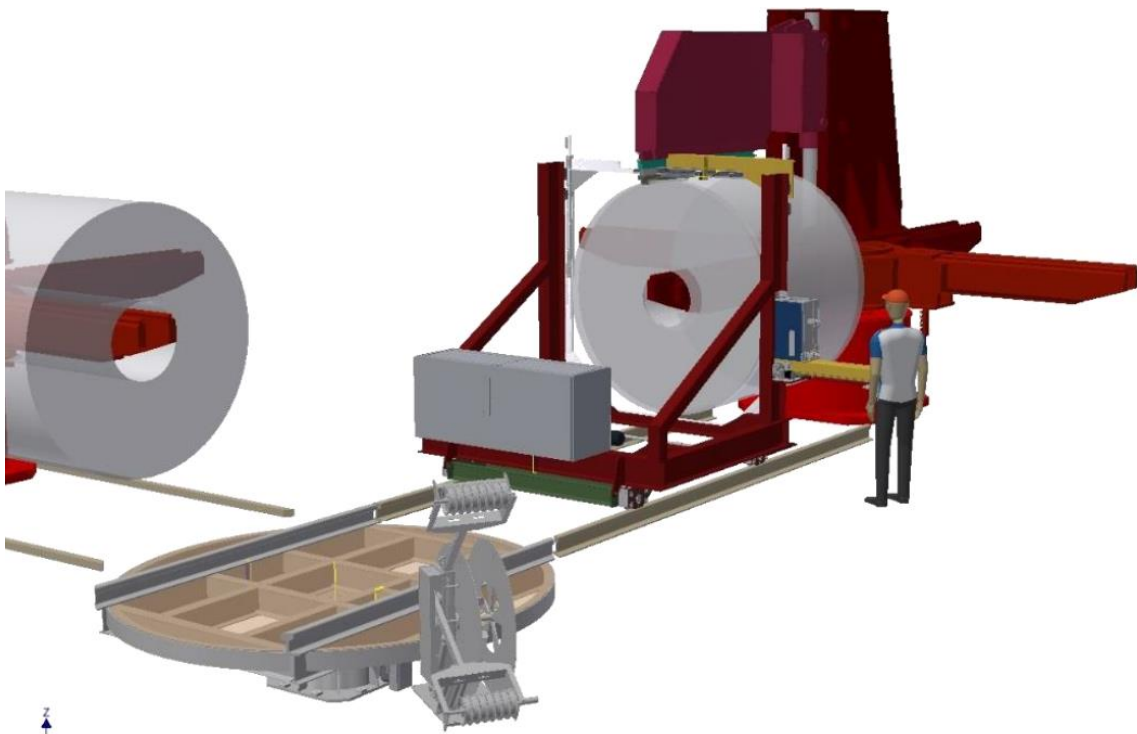
De pijnpunten ontstaan doordat de hierop volgende processen niet verder kunnen uitgevoerd worden voordat het initiële proces is afgerond. Het horizontaal dichtbinden van een band kan gezien worden als een eerste pijnpunt doordat dit een zeer fysiek, intensief proces is waarbij elke band apart moet worden dichtgebonden met één of meerdere legaturen. Het tweede pijnpunt is het verticaal dichtbinden van een band. Dit deelproces duurt langer dan de vorige deelprocessen waardoor hier de eerste deelbottleneck plaatsvindt. Bij inpakken en bevestigen aan een pallet wordt de zone steeds betreden om deze handeling manueel uit te voeren. Een automatisch proces kan niet plaatsvinden als een zone wordt betreden waardoor het hele inpakproces stilvalt. Het bevestigingsproces is dus ook de voornaamste reden dat hier een flessenhals optreedt.

2.3 Conceptoplossingen.

Er zijn meerdere concept oplossingen voor de verschillende deelproblemen onderzocht. Voor de horizontale strapping machine werden verschillende mogelijkheden uitgewerkt door externe bedrijven. De voorgestelde ontwerpen voor deze machine waren zeer gelijkaardig zoals te zien is in Figuur 13 en Figuur 14. Beide ontwerpen bestaan uit een constructie op rails om op beide draaikruisen te kunnen strappen. Op de constructie bevindt zich een geleiding om de strapband of legatuur door te sturen en een bindkop die de strapband door wrijvingslassen aan elkaar verbindt. Deze machine gaat elke band apart af waardoor deze niet kan ontrollen/openplooiën. Na deze bevestiging kan de aandrukarm van het draaikruis terug naar boven bewegen waarna de banden kunnen verplaatst worden naar het volgende deelproces. De uiteindelijke keuze van deze machine wordt besproken in hoofdstuk 3.1.



Figuur 13: Voorstel 1 horizontale strapping machine



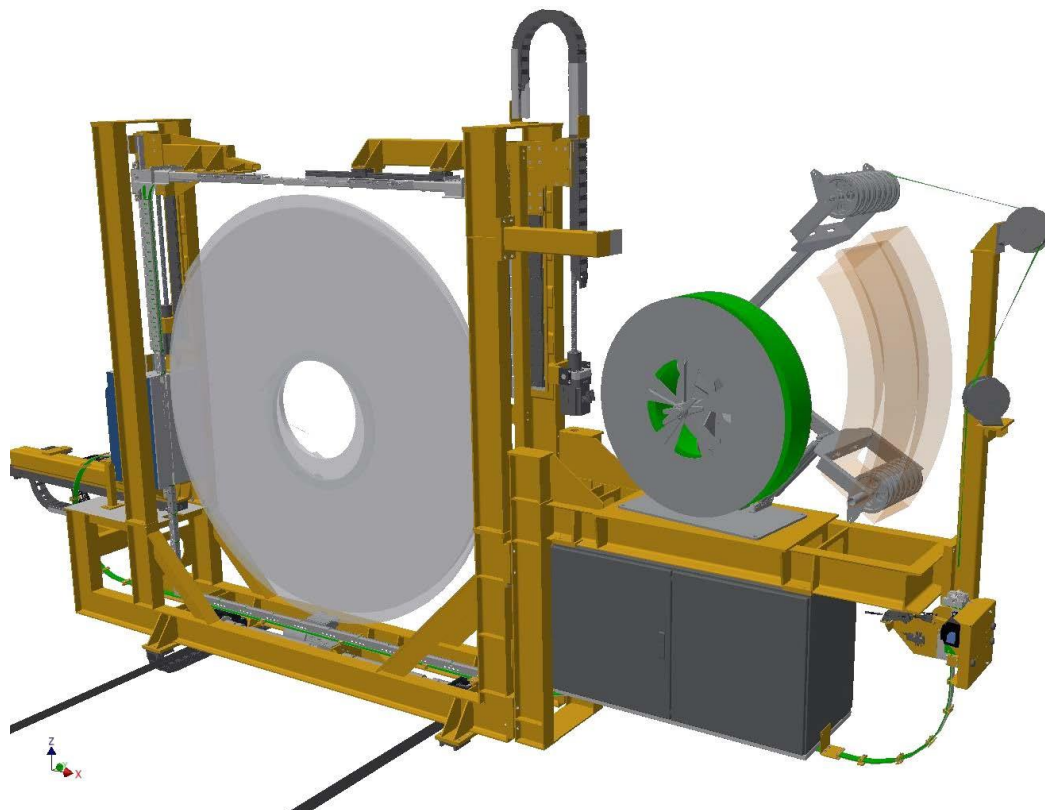
Figuur 14: Voorstel 2 horizontale strapping machine.

Het voorstel voor het verticaal dichtbinden werd maar zeer beperkt onderzocht omdat de eenvoudigste oplossing vanzelfsprekend is. Deze oplossing wordt besproken in volgend hoofdstuk 3.2. Het bevestigen aan een pallet en het inpakken met inpakmateriaal werden behandeld door een eigen ontwerp gebaseerd op reeds bestaande technologieën. De uiteindelijke keuzes worden verder besproken in hoofdstuk 3.3 en 3.4.

3 Uitgewerkte verbetervoorstellen

3.1 Horizontale strapping machine

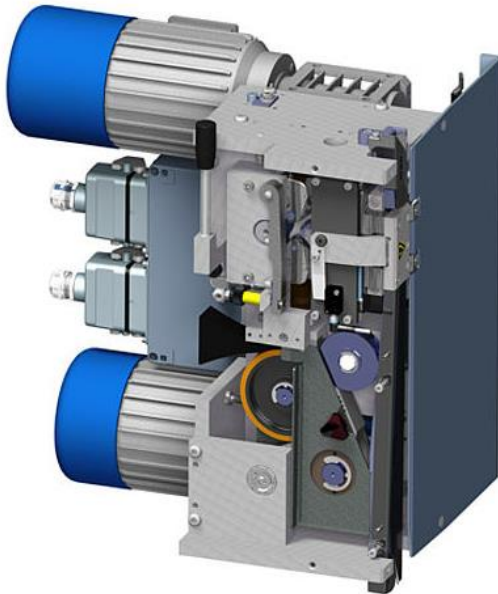
Figuur 15 geeft het gekozen ontwerp weer van de horizontale strapping machine. De keuze is gemaakt op basis van verschillende factoren. Als eerste wordt rekening gehouden met de compatibiliteit met de huidige productielijn. Er wordt nagegaan welke data er nodig is en hoe de machines (nieuwe strapping machine en huidige productielijn) met elkaar kunnen communiceren. In dit geval zijn de gegevens van de bandbreedten en de afstanden tussen de banden nodig om te bepalen hoever de machine mag bewegen tussen elke strapcyclus om de correcte positie te weten van de volgende band. Ten tweede wordt nagegaan hoe de machine kan ingebouwd tussen de huidige machines. Ten derde worden de gebruikte materialen besproken tussen het bedrijf en het ontwerp bureau. Deze factor wordt nagegaan om ervoor te zorgen dat de gebruikte materialen frequent voorkomen en eventueel overeenstemmen met reeds al aanwezige materialen in het magazijn van het bedrijf. Dit heeft als voordeel dat bij onderhoud of eventuele technische stilstanden de kans aanzienlijk wordt vergroot dat de defecten componenten aanwezig zijn. Vervolgens wordt de service na verkoop voor de nieuwe machine bekeken. Dit houdt in het afstellen van de machine en het oplossen van complicatie binnen een vaste periode na de installatie. Als laatste factor speelt de prijs een zeer belangrijke rol. Aan de hand van de prijs wordt de terugbetaaltijd berekend om te bepalen of deze machine rendabel is voor het bedrijf.



Figuur 15: Horizontale strapping machine

De horizontale strapping machine zal ervoor zorgen dat een zeer fysiek, intensief manueel proces zal vervangen worden door een volledig automatisch proces. De gele constructie kan worden verplaatst over rails richting beide draaikruisen. Aan de hand van een draaitafel die weggewerkt is in de funderingen wordt de constructie geroteerd. Na de positionering over de geproduceerde banden aan het draaikruis wordt een strapband geleid door de geleidingsgoten tot dat beide uiteinde van de strapband samenkomen in de bindkop. De bindkop, zoals te zien op Figuur 16, zal

de strapband aan elkaar bevestigen door gebruik te maken van wrijvingslassen. Twee borstels zorgen ervoor de strapbanden op elkaar gedrukt blijven. Vervolgens bewegen de borstels en dus ook de kunststof strapband over elkaar waardoor de temperatuur door wrijving stijgt tot dat het materiaal in elkaar vloeit en een las ontstaat, zoals te zien op Figuur 17.



Figuur 16: Bindkop titan K8000[3]

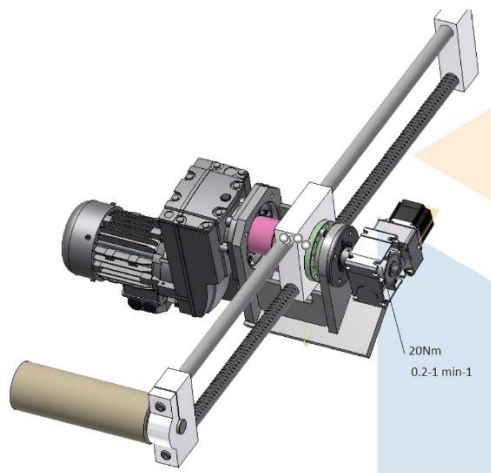


Figuur 17: Strapband met las

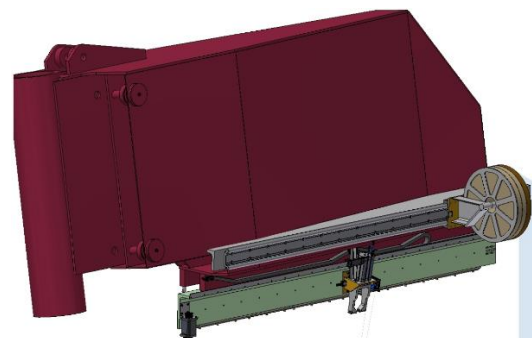
Door gebruik te maken van kunststof strapband wordt er een bijkomend probleem veroorzaakt. Bij het aanspannen van de strapband schuurt de strapband over de braam die zich aan het einde van een RVS band bevindt waardoor een inkerving ontstaat. Dit heeft tot gevolg dat de strapband minder sterk wordt en dat de minimum trekspanning niet meer behaald kan worden. Deze minimale trekspanning voor een strapband van 19x1.27 mm bedraagt 325 N/mm² voor coils tot een dikte van 4mm. Deze minimale trekspanning is de spanning die nodig is om de las te doorbreken (zie Figuur 17). Om dit probleem op te lossen kan gebruik gemaakt worden van een kartonnen plaatje (zie Figuur 18) tussen de braam en de strapband. Dit zal geplaatst worden door de constructie zoals te zien op Figuur 19. In dit ontwerp worden de kartonnetjes tijdens het plaatsen van een grote kartonnen rol gescheurd. Na de plaatsing van het kartonnetje wordt dit op zijn plaats gehouden door een module die bevestigd gaat worden op het originele draaikruis zoals te zien op Figuur 20. Daarna wordt de strapband gespannen rond de band waardoor er geen beschadiging optreedt.



Figuur 18: Strapband met kartonnen plaatje over braam op het einde van de coil

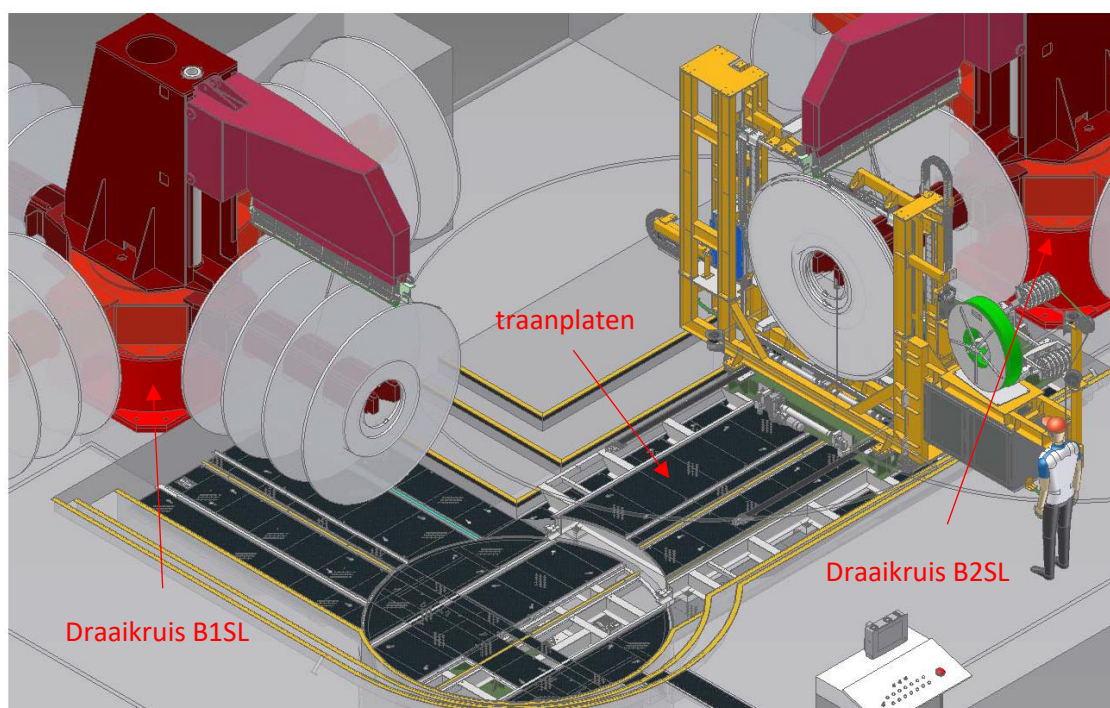


Figuur 19: Karton plaatser



Figuur 20: Karton Houder

Figuur 21 toont de horizontale strapping machine geïmplementeerd tussen de twee draaikruizen van de productielijnen. De zwarte traanplaten dekken de betonnen put af waar de kabelrupsen en bekabeling zich in zullen bevinden. Om veiligheidsredenen worden vloerscanners geplaatst op de gele constructie van de strapping machine. Zo kan er steeds worden nagegaan of de zone, binnen het bereik van de machine, wordt betreden en de bewegingen veilig uitgevoerd kunnen worden.



Figuur 21: Implementatie van horizontale strapping machine

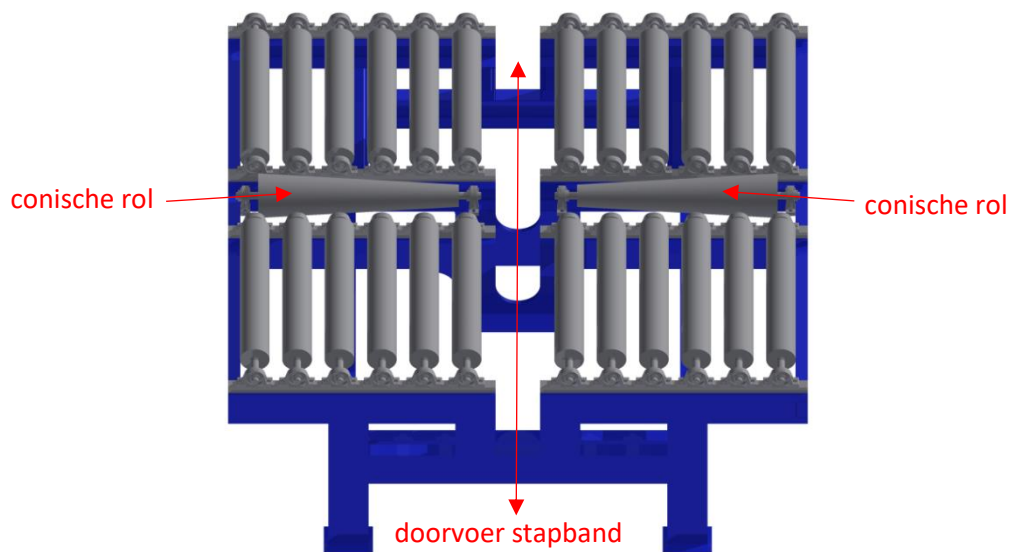
Bij het opleveren van de machine worden de KPI (Key Performance Indicators) na de installatie terug gecontroleerd. De KPI's zijn de richtlijnen waar de machine aan moet voldoen om het volledige gewenste resultaat te krijgen. Wanneer er afgeweken wordt van de KPI's door het ontwerpbedrijf zal er een penalty aangerekend worden. Dit heeft tot gevolg dat een bepaald percentage van het totaalbedrag van de machine niet betaald zal worden omdat het niet volledig voldoet aan de noden van het bedrijf. De opgestelde KPI's zijn terug te vinden in Tabel 2.

Tabel 2: KPI's Horizontale strapping machine

circumference strapping machine					
KPI (Key performance indicators)	Minimum performance without penalties	Minimum performance for achieving provisional acceptance	Δ	penalty per Δ	maximum penalty
max outside diameter from the strips	2100 mm	1900 mm	100 mm	0,25%	0,50%
strapping on one turnstile should we possible during evacuation with the C-hook on the other turnstile	always	always			1%
availability	99%	98%	0,25%	0,25%	1%
protection of strip against sharp edges	100%	98%	1%	0,50%	1%
No semi automatic or a manual handling for positioning of the carriage (coil specs will be interfaced between Aperam and supplier)	width 24 mm	width 30 mm	2 mm	0,50%	1%
min strip width	26 mm	24 mm	1 mm	0,25%	0,5%
thickness range 0.4-4mm, tensile strength 900N/mm ² : only plasti strap 19mm width	always	always			
maximum average cycle time per strap including introduction of cardboard and transport between neighbour slitting coil	25 sec	30 sec	1 sec	0,20%	1%
maximum average transport time of the wagon between the rotary table and the farthest turnstile (10m)	25 sec	30 sec	1 sec	0,20%	1%
maximum average rotation time of the rotary table (90°)	5 sec	10 sec	1 sec	0,10%	0,50%
maximum average rotation time of the rotary bridge (90°)	15 sec	18 sec	1 sec	0,25%	0,50%
maximum allowed bending of the turnstilearm with adaptation	10,5 mm	8 mm	0,5 mm	0,20%	1%

3.2 Verticale strapping machine

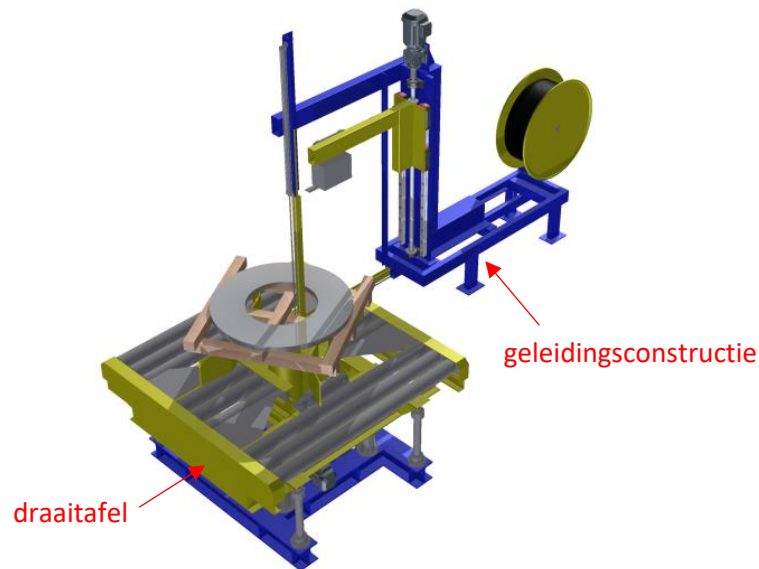
Het voorstel voor deze machine bestaat eruit om de huidige installatie aan te passen. De rollentafel krijgt een uitsparing aan beide kanten zoals te zien op Figuur 22. Aan elke zijde van deze rollentafel komt een bindmachine te staan. In de uitsparingen wordt een geleidingsrail voorzien waarlangs de strapband kan geleid worden. Het ronddraaien van de band gebeurt door toepassing van twee conische rollen. Doordat de band enkel steunt op de conische rollen en de rollen naast de uitsparing kan het gerooteerd worden op dezelfde plaats. Doordat de band enkel maar een kwarttoer moet draaien in plaats van driekwarttoer, omdat er gebruik gemaakt kan worden van twee bindkopen op hetzelfde moment, kan de cyclustijd van dit deelproces gehalveerd worden. Rekening gehouden met de tijd die nodig is om de lans in en uit te voeren wordt de tijd gereduceerd van 85 seconden naar 45 seconden.



Figuur 22: Rollenbaan met uitsparing aan beide kanten

3.3 Bevestigingsmachine

Een coil wordt bevestigd aan een pallet door gebruik te maken van een strapband. Deze band wordt door het oog van de coil en onder de balken van een pallet geleid om een bevestiging te verzekeren. Voor elke coil wordt het bevestigingsproces vier keer herhaald. De bevestigingsmachine (Figuur 23) wordt opgedeeld in 2 deelmachine: de draaitafel en de geleidingsconstructie voor de bindkop.



Figuur 23: Bevestigingsmachine

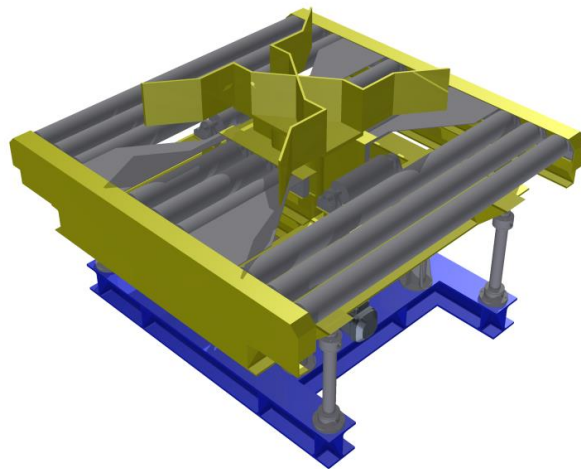
3.3.1 Draaitafel

Een pallet met coil moet gedraaid kunnen worden zodat langs meerder zijden een strapband kan gespannen worden. Dit kan verwezenlijkt worden op twee manieren.

Een eerste manier is door de volledige rollenbaan of transportband te laten roteren. Een tweede manier is enkel de steun onder de belasting te laten roteren.

Er is gekozen voor de tweede manier omdat dit meer mogelijkheden kan geven naar verdere inbouwmogelijkheden. Ook is er gekozen om met een rollenbaan te werken. Deze keuze is gebaseerd op de reeds al bestaande rollenbanen en omdat het gebruik van een kettingbaan of transportband meer moeilijkheden zou meebrengen bij het inbouwen van de draaisteun (gele steun boven rollenbaan te zien op Figuur 24) en de te manipuleren belasting.

De verticale beweging van de rollenbaan wordt verwezenlijkt door gebruik te maken van hydraulische cilinders. De rotatie van de draaisteun wordt aangedreven door een elektromotor met een reductiekast. Voor de dimensionering van deze componenten wordt er met de volgende belastingen rekening gehouden. De rollenbaan moet een nuttige belasting van 6000 kg aankunnen. Deze belasting komt dus als eerste op de rollen te staan. Er wordt vanuit gegaan dat het minimaal aantal rollen waar de belasting op staat zes is. Hieruit volgt dat elke rol minstens 1000 kg belasting moet kunnen weerstaan. De maximale lengte van een rol bedraagt 2000 mm.

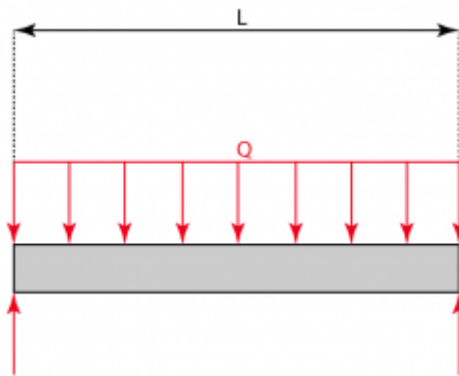


Figuur 24: 3D ontwerp draaitafel

Dimensionering rol:

Een rol van 2000mm moet 1000kg verdeelde belasting aankunnen (zie Figuur 25). De belasting heeft een maximaal moment van 2500Nm in het midden van de rol. Dit moment is bepaald met formule (1). Hierbij is Q is 5000 N/m en L is 2 m.

$$M_{max} = \frac{Q * L^2}{8} \tag{1}$$



Figuur 25: Equivalent schema opgelegde rol

Er is gekozen voor een opgelegde belasting omdat het huis voor de wentellagers ook een kleine axiale rotatie kan opvangen, hierdoor kan dit gezien worden als een scharnierpunt. De buigspanning van het materiaal van de rol moet hoger zijn dan de buigspanning die voortkomt uit de berekeningen. Via een algemene vuistregel, formule (2), kan bepaald worden wat de minimaal toelaatbare buigspanning is van het materiaal.

$$buigspanning = vloeigrens * veiligheidsfactor * belastingsgeval \tag{2}$$

De materiaalkeuze voor de rol is een rond buisprofiel vervaardigd uit S235 of E 24-2. Dit materiaal heeft een vloeigrens van 235 N/mm². Als veiligheidsfactor wordt 0,7 gekozen. Omdat de rol ronddraait zal het belasting geval eerder wisselend zijn dan zwellend omdat de rol in meerdere richtingen kan buigen. Het belasting geval geeft dus al waarde 1/3.

De toelaatbare buigspanning van het materiaal is 54,83 N/mm²

De buigspanning van het profiel kan berekend worden aan de hand van formule (3).

$$\sigma_b = \frac{M * y}{I_z} \quad (3)$$

M geeft het maximale moment. y geeft in dit geval de straal weer van het profiel. I_z geeft het traagheidsmoment weer van het profiel. t geeft de wanddikte weer. Dit wordt bepaald via formule (4).

$$I_z = \frac{\pi * r^4}{4} - \frac{\pi * (r - t)^4}{4} \quad (4)$$

Uit de lijst van productiediameters wordt een rond buisprofiel gekozen met een diameter van 133mm en een wanddikte van 4 mm. Deze waarde geeft een buigspanning van 49,26 N/mm² en voldoet voor deze toepassing. Als er rekening wordt gehouden met de eigenmassa van de rol (12,97 kg/m) zal de buigspanning 50,53 N/mm² bedragen. Dit buisprofiel voldoet nog steeds voor deze toepassing. De bijkomende wentellagers worden gekozen op basis van de diameter van de aangedreven as van een rol (35 mm) en de opgelegde statische belasting.

Dimensionering hydraulische cilinder:

Bij de belasting van 6000 kg wordt het gewicht van de rollen en het rollenframe opgeteld. De maximale belasting bedraagt dan 7000 kg als verondersteld wordt dat het bovenste chassis met rollenbaan maximaal 1000 kg weegt. Om de constructie stabiel te maken wordt gebruik gemaakt van vier geleidingen en 4 cilinders die zich op de hoeken van de constructie bevinden. In het midden van de gehele constructie blijft er plaatst over om de aandrijving van de draaiflens te voorzien. De kracht die een cilinder kan leveren wordt bepaald door het zuigeroppervlak en de druk die op het oppervlak komt te staan. De standaard druk bij hydraulische toepassingen is 180 bar. Een zeer specifieke berekening wordt niet uitgevoerd omdat zelfs de kleinere cilinders voldoende kracht leveren om de belasting te kunnen verplaatsten. Een zuigerdiameter van 63mm is gekozen omdat dit een standaardmaat is en dus ook goedkoper zal zijn dan een cilinder die op maat gemaakt moet worden. De drukkracht wordt berekend met formule (5).

$$F = p * A = 180 * 10^5 * \frac{(\pi * 0,063^2)}{4} = 56970N \text{ per cilinder} \quad (5)$$

Door de 4 cilinders te combineren zal een drukkracht van 227880 N of 22788 kg worden geleverd wat meer dan voldoende is voor deze toepassing. Natuurlijk brengt hydraulische energie meer veiligheidsrisico's met zich mee dan pneumatische energie. Deze risico's zijn hoger doordat bij hydraulische energie gebruik gemaakt wordt van veel hogere drukken. Een bijkomend probleem is dat hydraulische energie meestal ter plaatsten, binnen of rondom de machine, moet opgewekt worden. Dit zorgt voor een toename in kostprijs omdat een hydraulische groep voorzien moet worden. In tegenstelling tot hydraulische energie is pneumatische energie meestal al aanwezig in de productiehal. Er zijn twee belangrijke redenen waarom er niet gekozen is voor pneumatische cilinders. De eerste reden is omdat de zuigerdiameter veel groter gedimensioneerd zal moeten worden om dezelfde kracht te kunnen leveren. Zo zal elke cilinder een zuigerdiameter van

minimaal 200 mm moeten bevatten om de last bij acht bar te kunnen manipuleren. Dit kan dan weer problemen geven voor de inbouwmogelijkheden van andere componenten (motor en reductiekast) die onder de rollenbaan geplaatst moeten worden. De tweede reden is dat pneumatische energie werkt op basis van perslucht. Perslucht kan makkelijker gecomprimeerd worden dan hydraulische olie waardoor het zakken bij zware belasting van de rollenbaan mogelijk kan zijn.

Dimensionering elektromotor en reductiekast:

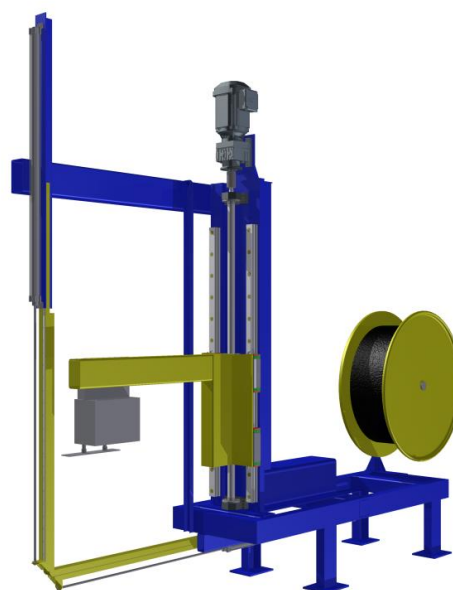
Om de rotatie van de draaiflens, de gele metalen constructie in het midden van de draaitafel (zie Figuur 24), te kunnen realiseren wordt er gebruik gemaakt van een elektromotor. De belasting op de draaiflens bedraagt maximaal 6000 kg. Om deze krachten te kunnen overbrengen van het roterende gedeelte op het statische gedeelte wordt een groot taatslager gebruikt.

Het koppel van de motor kan berekend worden door de wrijvingskracht van het lager en de bovenstaande belasting te bepalen. De statische wrijvingscoëfficiënt van het taatslager (metaal op metaal met smeermiddel) is 0,1. De wrijvingskracht wordt berekend aan de hand van formule (6).

$$F_w = \mu_s * F_n \quad (6)$$

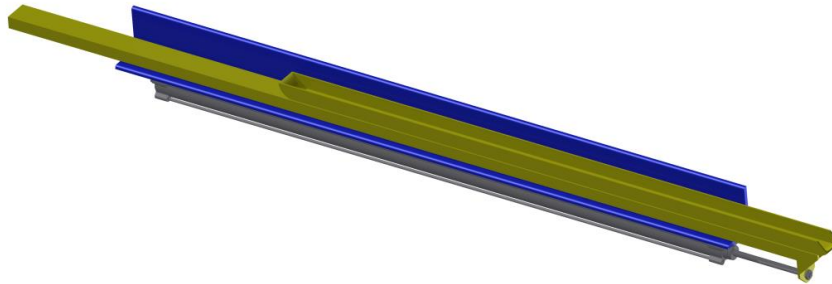
De Normaalkracht is bij deze toepassing gelijk aan de zwaartekracht van de draaiflens en de belasting daarboven, ongeveer 6200kg. Dit bedraagt dus 60822 N. Hieruit volgt een wrijvingskracht van 6082N. Dit resulteert in een koppel van 1216,4 Nm bij een straal van 0,2m. Dit is een hoog koppel maar kan geen probleem geven omdat het gewenste toerental, 5 toeren per minuut, zeer laag is. Door een reductiekast te gebruiken met een grote overbrengen kan er voldoende koppel geleverd worden met een motor met een laagvermogen. De gekozen motor is een AC-motor met een vermogen van 1,5 KW en een nominaal toerental van 1461 tr/min. Deze motor in combinatie met een reductiekast met overbrengingsverhouding van 288 geeft een toerental van 5,1 toeren per minuut en een koppel van 1980 Nm volgens de catalogus van SEW Eurodrive [4]. Deze motor zal aangedreven worden door een frequentieregelaar om nauwkeuriger de gewenste draaihoek te bekomen.

3.3.2 Geleidingsconstructie bindkop



Figuur 26: Geleidingsconstructie bindkop

Figuur 26 geeft de constructie weer waar de geleidingsmodules en de bindkop op worden bevestigd. De geleidingsmodules (Figuur 27), één horizontaal en één verticaal, kunnen uitgeschoven worden met behulp van een pneumatische cilinder. Het profiel waar de bindkop op wordt bevestigd verschuift verticaal over een lineaire geleiding door gebruik te maken van een spindel. De Spindel wordt aangedreven door een elektromotor. Deze verticale verschuiving van de bindkop is nodig om druk uit te kunnen oefenen op de band waarna de strapband door wrijving gelast kan worden. De berekening van de pneumatische cilinder en elektromotor worden hieronder verder besproken.



Figuur 27: Geleidingsmodule

Dimensionering cilinder geleidingsmodules:

Voor deze toepassing is er gekozen voor pneumatische energie omdat de belasting minimaal is. De pneumatische cilinders zorgen ervoor dat de geleidingen kunnen uitschuiven. De schuifbeweging wordt ondersteund door lineaire geleidingen zodat er geen kracht op de zuigerstand van de cilinder staat dat buiging kan veroorzaken.

Door een cilinder te kiezen met een standaard zuigerdiameter (32 mm) en een voldoende lange slaglengte (1200 mm) kan de geleidingsrail makkelijk zijn uiteindelijke positie bereiken. Dit zowel horizontaal als verticaal. De kracht die deze cilinder kan leveren is 483 N bij 6 bar, zie formule (7).

$$F = p * A = 6 * 10^5 * \frac{(\pi * 0,032^2)}{4} = 483N \quad (7)$$

Dimensionering spindel en elektromotor:

Om de bindkop en bijhorend frame verticaal te verschuiven wordt gebruik gemaakt van twee lineaire geleidingen en een spindel. De lineaire geleidingen zorgen voor een starre verbinding die enkel een beweging in de verticale richting toelaat. De spindel zorgt enkel voor een verticale positieverplaatsing en zal ook het merendeel van het gewicht van het frame en bindkop opvangen. De spindel wordt aangedreven door een elektromotor.

Om het koppel van de motor te bepalen wordt eerst de spindel gedimensioneerd. De maximale belasting wordt geschat op basis van de massa van het frame en de massa van de bindkop maal een veiligheidsfactor van twee. Aan de hand van de formules uit "Roloff/Matek machineonderdelen" [5] wordt de spindeldiameter en het vereist draaimoment bepaald. Formule (8) bepaald de kerndiameter van de spindel op basis van de belasting (2000 N), de spindellengte (1,8 m) en de elasticiteitsmodules van staal (210 GPa).

$$d_{kern} = \sqrt[4]{\frac{64 * F * 8 * L}{\pi^3 * E}} = 0,0267m \quad (8)$$

De meest dichtstbijzijnde nominale kerndiameter is in dit geval 0,029 m. Om het draaimoment T te berekenen wordt gebruik gemaakt van formule (9). Hierbij is F de langskracht, deze komt overeen met de belasting van 2000 N omdat de spindel verticaal is opgesteld. Er werkt een verwaarloosbare dwarskracht op de spindel omdat deze kracht wordt opgevangen door de lineaire geleidingen. d_2 is de diameter waarmee de kracht wordt overgebracht en wordt afgeleid uit Tabel 8-3 van “*Tabellenboek - Roloff/Matek machineonderdelen*” [6]. In dit geval is $d_2=0,033$ m. De spoedhoek φ is 0,058 rad of $3^\circ 18'$, afgerond naar boven 4° , wordt bepaald met formule (10). ϱ wordt bepaald door het soort contact tussen spindel en moer, in dit geval gesmeerd dus $\approx 6^\circ$

$$T = F * \frac{d_2}{2} * \tan(\varphi \pm \varrho) \quad (9)$$

Als het draaimoment zorgt voor een opwaartse beweging wordt ‘+’ gebruikt in de formule, als het draaimoment zorgt voor een neerwaartse beweging wordt ‘-’ gebruikt in de formule. In dit geval geeft dit:

$$\begin{aligned} T_{\uparrow} &= 5,81 \text{ Nm} \\ T_{\downarrow} &= -1.15 \text{ Nm} \\ \tan \varphi &= \frac{P}{d_2 * \pi} \end{aligned} \quad (10)$$

P (6 mm) de spoel en volgt ook uit Tabel 8-3[6].

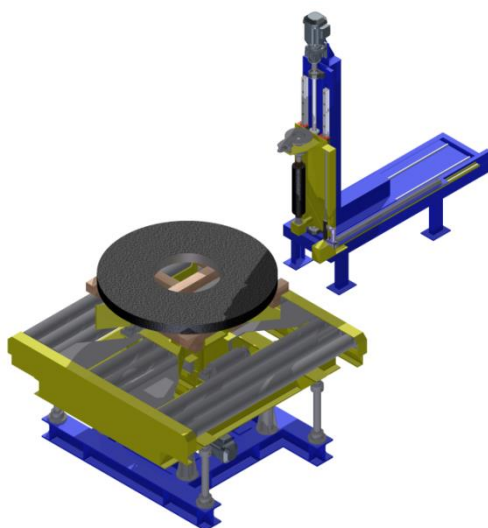
Met dit koppel kan het vermogen van de motor bepaald worden als we weten welk toerental nodig is om de verticale bewegingssnelheid te bekomen. Bij een toerental van 1450 toeren per minuut kunnen we een verticale bewegingssnelheid van 8,7m/s bekomen. Aan de hand van formule (11) kan het vermogen van de elektromotor berekend worden.

$$P = T * \omega \text{ waarbij } \omega = \frac{2 * \pi * n}{60} \quad (11)$$

Bij het starten van een motor ligt het startkoppel op 70% van het nominaal koppel. Dit betekent voor deze toepassing dat het motorkoppel T minstens 8,3 Nm moet bedragen. Het nodige vermogen van de elektromotor is dan 1260 W. Het dichtstbijzijnde vermogen hoger dan deze waarde is 1,5 kW, wat resulteert in een motorkoppel van 9.9 Nm. In dit geval is er gekozen voor een motor van SEW Eurodrive [4].

3.4 Inpakmachine

De inpakmachine zal een coil die reeds bevestigd is aan een pallet, inpakken met een folie. Deze folie zorgt ervoor dat de coil beschermd is tegen omgevingsomstandigheden tijdens de stockage en het verder transport naar de klant. De inpakmachine (Figuur 28) wordt opgedeeld in 2 deelmachines, de draaitafel en de foliedispenser. De draaitafel is identiek aan de draaitafel van de bevestigingsmachine. De foliedispenser is gebaseerd op het frame van de geleidingsconstructie van de bevestigingsmachine.



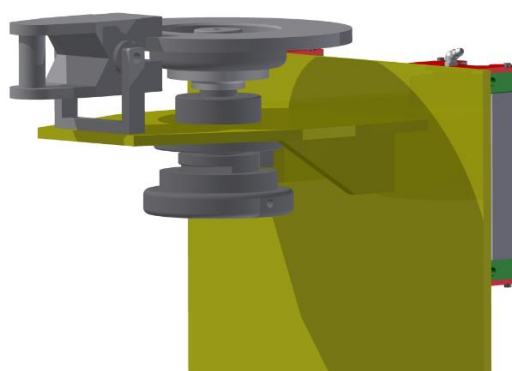
Figuur 28: Inpakmachine

Tijdens het ontwerp werd rekening gehouden met drie belangrijke aspecten. Een eerste aspect is het efficiënt kunnen vervangen van de folierol. Een tweede aspect is het kunnen bevestigen van de folie aan de coil alvorens deze kan beginnen ronddraaien. Het laatste aspect is de folie kunnen doorknippen en vasthouden voor een volgende wikkelperiode.

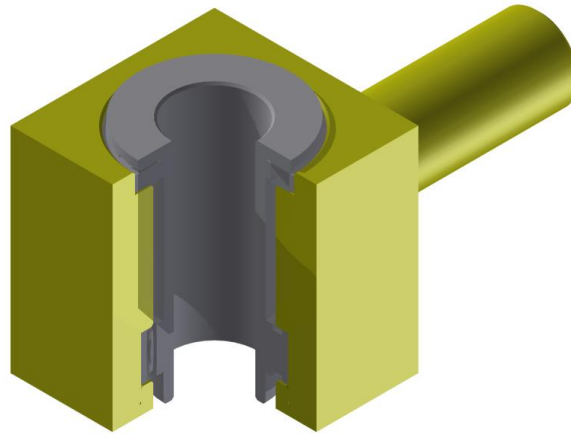
Om een folierol gemakkelijk te kunnen vervangen wordt gebruik gemaakt van een snelkoppeling van de folierol-as. Deze as bevindt zich vanonder in een gelagerde houder. Deze houder (Figuur 31) bevat een taatslager voor de axiale kracht, zijnde de zwaartekracht die de rol uitoefent op de houder, en een radiaal lager voor de radiale kracht op te vangen tijdens het afrollen van de folie. Aan de bovenzijde zit de as vast via een klaplager (zie Figuur 29). Een klaplager kan gezien worden als een gelagerde snelkoppeling. Dit soort lager wordt vooral gebruikt in de wikkelperiode bij bijvoorbeeld een drukkerij, waar een rol papier vaak opgespannen moet worden. Op dit klaplager zit ook een remschijf met pneumatische remklauw (Figuur 30) bevestigd om ongewenst afrollen van de folie te voorkomen.



Figuur 29: Klaplager [7]

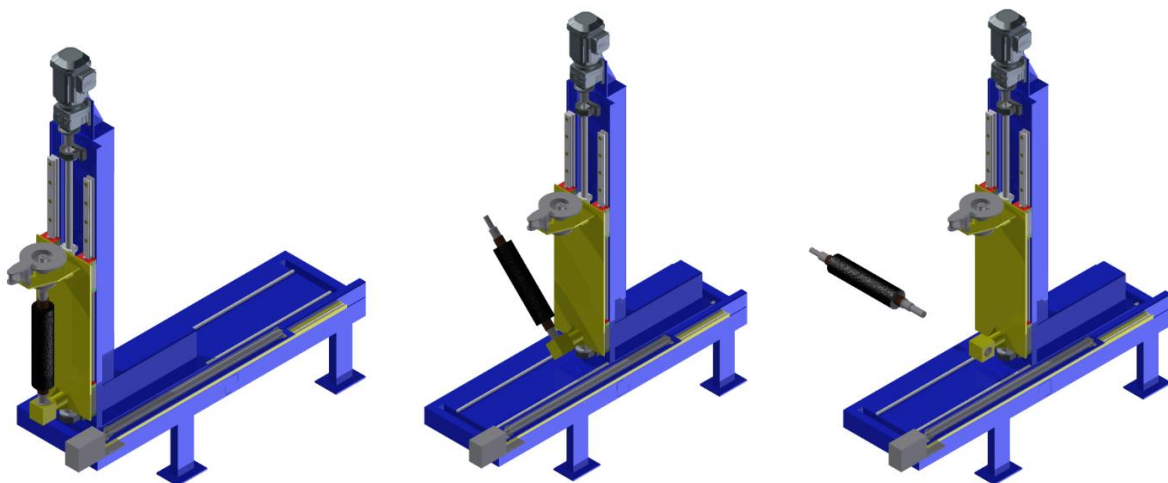


Figuur 30: Klaplager met remschijf



Figuur 31: Houder met axiaal en radiaal lager

Het verticale profiel kan horizontaal bewegen om plaats te maken voor het wisselen van de folierol. Als eerste wordt de foliekar van de rollenbaan weg gereden over lineaire geleidingen. Daarna wordt het klaplager open gezet. Vervolgens kan de folierol-as kantelen rond zijn onderste bevestigingspunt tot een horizontale positie waarna de as eenvoudig uit de houder geschoven kan worden. Deze stappen zijn zichtbaar gemaakt in Figuur 32.



Figuur 32: Stappenplan vervangen folierol

Om ervoor te zorgen dat de folie tijdens het wikkelen op een coil blijft hangen wordt de folie eerst bevestigd aan een balk van de pallet. Het bevestigen kan gebeuren door het knopen van de folie rond een balk. Een alternatief is gebruik maken van een nietpistool. Het nietpistool wordt op het uiteinde van een profiel bevestigd. Dit profiel bevat twee geleidingsrollen die ervoor zorgen dat de folie vlak gespannen blijft. De afstand tussen deze twee rollen bedraagt slechts 1 mm. De dikte van de folie is kleiner dan 1 mm en kan dus tussen de rollen uitschuiven. Echter ontstaat door het afrollen een statische lading op de folie die ervoor zorgt dat deze tegen de rol blijft plakken. Dit profiel schuift uit naar de pallet onder de coil en trekt op deze manier de folie mee tot aan de pallet. Daarna wordt de folie bevestigd aan het hout door middel van enkele nietjes. Vervolgens

schuift het profiel met de nietmachine weer weg van de pallet. Hierna kan de draaitafel een rotatie uitvoeren die ervoor zorgt dat de folie zich rond de coil gaat wikkelen.

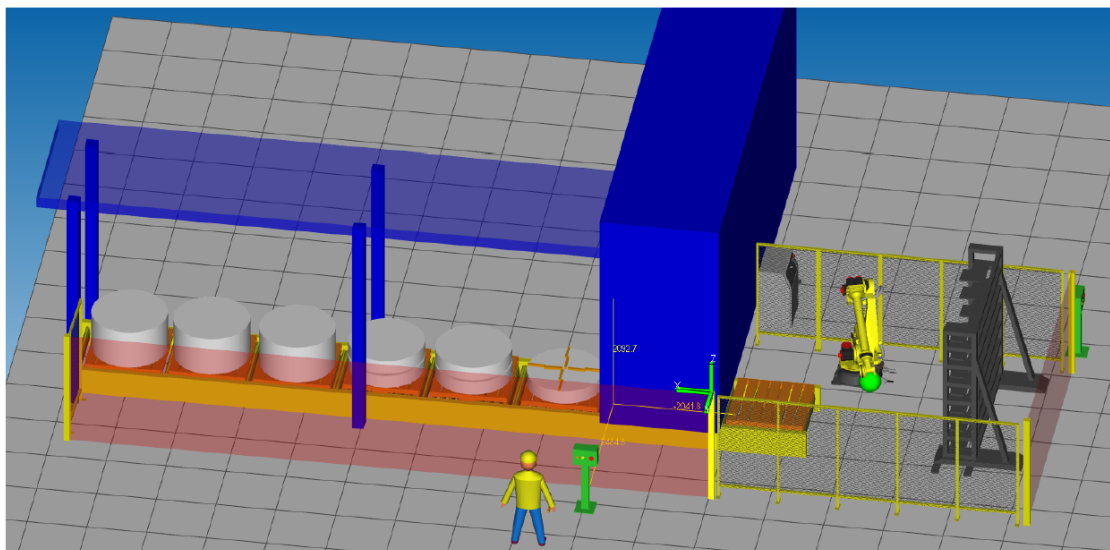
Het doorknippen van de folie gebeurt door een kleine inkerving te maken onderaan de folie. Wanneer de pneumatische rem in werking treedt samen met de rotatie van de draaitafel zal deze inkerving verder scheuren zodat de folie wordt doorbroken.

De berekeningen voor de elektromotor die het frame voor de folierol verticaal laat bewegen is identiek aan de die van de bindmachine. Dit geldt ook voor de lineaire geleiding en pneumatische cilinder die het nietpistool zal uitschuiven. Het nietpistool is een standaard pneumatisch nietpistool dat commercieel te verkrijgen is.

4 Potentiele uitbereidingen in automatisatie inpaklijn

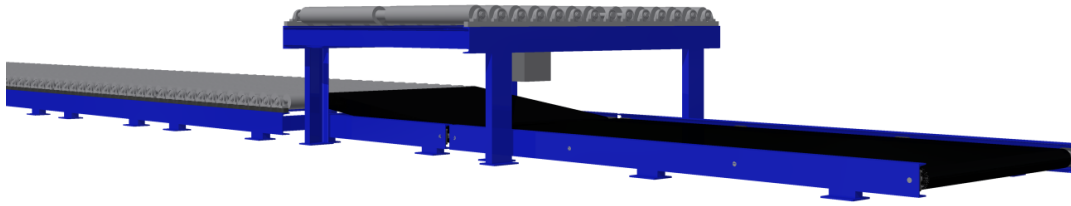
4.1 Palletmachine

Tijdens het onderzoek naar de pijnpunten en hun oplossingsmogelijkheden zijn er ook andere ideeën aan het licht gekomen. Zo zou een palletmachine of palletdispenser zeker een meerwaarde bieden aan de efficiëntie van de inpaklijn en de hele fabriek. Momenteel worden de palletten via een heftruck aangevoerd op de gewenste plaats en na het inpakken ook terug verwijderd. Dit heeft tot gevolg dat er bijna permanent een heftruckbestuurder aanwezig is. Ook worden de palletten vervaardigd bij een externe firma en buiten de productiehal gestockeerd. Het merendeel van de gebruikte palletten komen terug van de klant om nogmaals gebruikt te kunnen worden. Doordat elke kant zijn eigen soort pallet heeft en er zoveel diverse maten zijn van palletten voor de andere productielijnen is er veel stockageruimte nodig. Door een te kort aan stockageruimte binnen de fabriekshal en wegens wens van de verzekering tegen brandgevaar worden deze buiten gestockeerd. Het idee om de palletten zelf te fabriceren met een robot zou tot gevolg hebben dat het *Just in time* principe (JIT) kan toegepast worden. Hierdoor kan de stockage aan palletten drastisch verminderd worden. Deze robot zou aansluitend aan de inpaklijn gebouwd kunnen worden waardoor deze voor een directe toevoer zorgt en er geen heftruckbestuurder meer aan bod moet komen. De toevoer kan gerealiseerd worden door een simpele transportband. Als extra meerwaarde kan de robot over meerdere matrijzen beschikken om zo elke soort pallet die binnen de fabriek wordt gebruikt te construeren. Figuur 33 toont een ontwerp van de eventuele implementatie van de palletrobot.



Figuur 33: Voorstel integratie palletrobot in inpaklijn

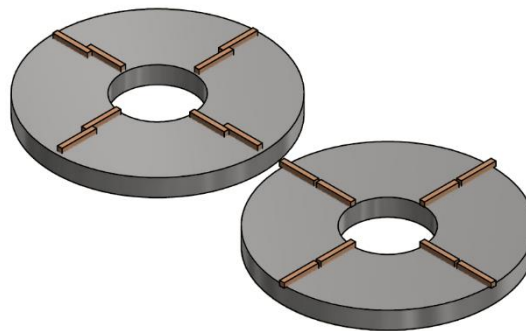
Om ervoor te zorgen dat de robot zo weinig mogelijk plaats inneemt en dat de aansluiting met de inpaklijn zo efficiënt mogelijk plaatsvindt is voor de optie gekozen om de connecterende transportband onder de originele rollenbaan te plaatsen. Figuur 34 toont hoe het hoogteverschil overwonnen wordt waardoor een pallet toch zijn weg kan vinden naar de nieuwe rollenbanen. Door een licht hellende transportband te gebruiken kan een pallet toch verplaatst worden onder de centreerpenmodule van de bovenliggende rollenbaan. Deze module is als een vereenvoudigde blok getekend met dezelfde ruwmaten. De centreerpenmodule wordt gebruikt om een band te centreren voordat het wordt verplaatst door de stapelkraan.



Figuur 34: Transportband onder huidige rollenbaan

4.2 Balkjesrobot/dispenser

Het kan voorkomen dat er meerdere banden op één pallet geplaatst worden als de totaal massa dit toelaat. Om deze banden eenvoudig terug van elkaar te halen worden er tussenbalkjes geplaatst. Dit kan op twee verschillende manieren, afhankelijk van de buitendiameter van een band (zie Figuur 35).



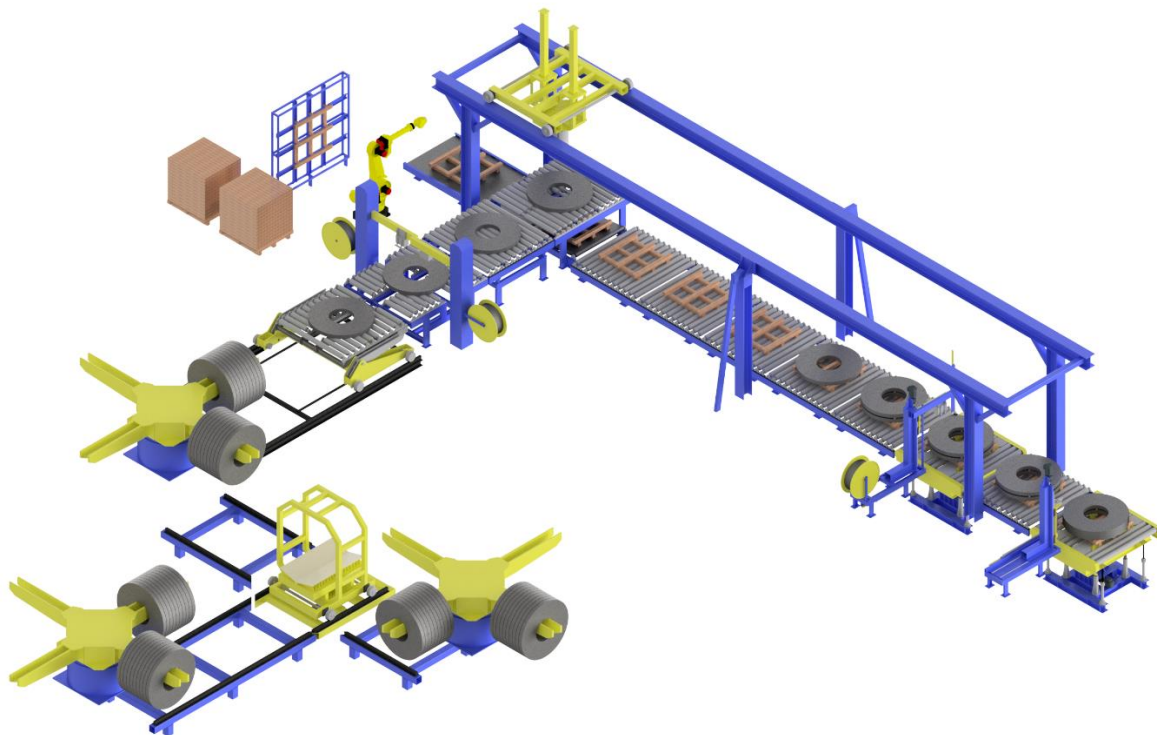
Figuur 35: Positionering tussenbalkjes

Deze balkjes kunnen geplaatst worden door een statische dispenser. Dit heeft tot gevolg dat de coil onder de dispenser moet roteren zodat alle posities kunnen behaald worden. Een tweede mogelijkheid is een roterende balkjesdispenser. Een derde mogelijkheid is een robot plaatsen die de balkjes kan positioneren. Een laatste mogelijkheid is een aparte grijper te voorzien op de palletrobot die de balkjes op zijn juiste positie kan leggen. Dit heeft als voordeel dat de kost kan onderdrukt worden doordat enkel een andere grijper moet worden aangekocht en de robot her programmeert moet worden. Deze laatste stap zou mogelijk kunnen zijn als de weegrollentafel en de verticale stacking machine van plaatst verwisselen. Zo komt de weegrollentafel korter bij de robot te staan en kan op deze positie, na het wegen, de balkjes worden geplaatst. De weegrollentafel is de enigste rollenbaan waar geen andere machine is boven gemonteerd. Daarom komt deze in aanmerking voor deze toepassing.

5 Globaal ontwerp en analyse van de geautomatiseerde inpaklijn

5.1 Nieuw 3D-model inpaklijn

Het 3D-model van de vernieuwde inpaklijn ziet er als volgt uit (Figuur 36). Het product start linksonder op de afbeelding en gaat dan in wijzerzin door het proces. Hierbij is de horizontale strapping machine niet opgenomen omdat deze is ontworpen door een externe firma. Deze firma geeft hun CAD-model niet vrij wegens geheimhouding. Op dit model is ook te zien dat alle inpaktafels zijn vervangen door rollentafel om de machines automatisch met elkaar te verbinden. Dit model zal gebruikt worden als visuele weergave van het volledige project tijdens de presentatie voor het bedrijf.



Figuur 36: Uitgewerkt 3D-model Inpaklijn

5.2 Nieuwe tijdsanalyse

Tabel 3 geeft de vergelijking van de inpaklijn in 2017 en het nieuwe voorstel. De nieuwe tijden zijn bepaald uit afgeleide tijden van andere installatie of volgens de datasheets van de machines.

Tabel 3: Operationele tijdsanalyse inpaklijn 2017 vs. toekomst

Operationele tijdsanalyse inpak		2017			Toekomst		
aantal bandjes		1	10		1	10	
Stap	Processen inpaklijn	tijd (s)	tijd (s)	aantal FTE's (#)	tijd (s)	tijd (s)	aantal FTE's (#)
1	uitvoerkar	30	30	2	30	30	1
2	horizontaal dichtbinden	30	300		30	300	
3	samenbinden bandjes door het oog	60	60		60	60	
4	draaikruis (1/4 tr)	30	30		30	30	
5	draaikruis (1/4 tr)	30	30		30	30	
6	overzetwagen	300	300		300	300	
7	rolbrug en C-haak			1			1
8	draaikruis (1/4 tr)	30	30	1	30	30	1
9	platleggen	60	825		60	1680	
10	transport	5	5		5	5	
11	wegen	5	5		45	45	
12	transport	5	5		5	5	
13	verticaal dichtbinden	85	85		45	45	
14	transport	10	10	10	10	1	
15	stapelkraan positie 1	40	40	1	40	40	1
	stapelkraan positie 2	50	50		50	50	
	stapelkraan positie 3	60	60		60	60	
	stapelkraan positie 4	70	70		70	70	
	stapelkraan positie 5	80	80		80	80	
	stapelkraan positie 6	90	90		90	90	
16	inpakken	240	2400	180	180	1	
17	tussenbalkjes plaatsen	40	400	0	0		
18	bevestigen aan pallet	300	3000	180	180		
	Totaal aantal seconden	1320	7575	6	1100	2990	4
	Totaal aantal minuten	22	126,25		18,33	49,83	

Het horizontaal dichtbindproces toont in de toekomst geen tijdsverandering maar er kan wel één FTE worden vervangen door een volledig automatisch proces. De verticale dichtbindmachine wordt aangepast van één bindkop naar twee bindkoppen waardoor de tijd gehalveerd. Het inpakken met inpakmateriaal en het bevestigen aan een pallet kan nu automatisch verlopen waardoor de zone niet meer betreden moet worden en alle voorgaande processen kunnen blijven doorgaan. Dit heeft tot gevolg dat de tijd voor stap 9 is gestegen ten opzichte van de huidige situatie. Dit komt omdat dit nog steeds de beginstap is van het automatisch proces waar elke band apart gemanipuleerd zal worden. Tijdens deze stap wordt bepaald hoeveel tijd er tussen elke band moet worden gehouden zodat de achterliggende processen aaneensluitend kunnen verlopen. Deze tijd wordt bepaald door het langstdurende achterliggende proces, in dit geval stap 16 met 180 seconden. Na de eerste band wordt steeds 180 seconden bijgeteld voor de volgende band stap 9 mag verlaten, zie formule (12).

$$t_{\text{stap 9}} = 1 * 60 \text{ seconden} + (10 - 1) * 180 \text{ seconden} = 1680 \text{ seconden} \quad (12)$$

De tweede FTE kan gereduceerd worden door implementatie van het totaal project. Er kan geconcludeerd worden dat de inpaktijd voor tien banden met meer dan de helft is gereduceerd. Zelfs met een tijdsmargin van 20%, door eventuele afwijking van de berekende procestijden, is de inpaktijd nog steeds gehalveerd wat tot gevolg heeft dat de productiecapaciteit is verdubbeld.

5.3 Kostenraming

Voor dat de berekening van de kostenraming kan uitgevoerd worden zal eerste de totaalprijs worden opgesteld van dit project. De prijzen in Tabel 4 komen uit offertes of door middel van een ruwe schatting voor de deelmachines die zelf zijn ontworpen.

Tabel 4: Kostenprijsberekening herontwerp

Kostenprijsberekening			
Machine	prijs per eenheid	aantal eenheden	Kostprijs
circumference strapping machine	295 000,00 €	1	295 000,00 €
grondwerken	59 000,00 €	1	59 000,00 €
rollenbaan	10 200,00 €	6	61 200,00 €
rollenbaan met draaitafel	20 980,00 €	2	41 960,00 €
transportband onder helling	3 750,00 €	1	3 750,00 €
transportband	5 100,00 €	1	5 100,00 €
bindtoestel + frame	189 000,00 €	1	189 000,00 €
foliewikkelaar + frame	100 000,00 €	1	100 000,00 €
pallet machine	192 095,00 €	1	192 095,00 €
balkjesdispencer	100 000,00 €	1	100 000,00 €
Sub Totaalherontwerp			1 047 105,00 €
reeds uitbesteed			354 000,00 €

Van de totaalprijs is reeds al één derde uitbesteed aan de realisatie van de horizontale strapping machine (circumference strapping machine) en de grondwerken hiervan. De resterende investering wordt verdeeld over de volgende jaren waardoor dit project niet in één keer gerealiseerd zal worden.

De manier waarop de terugbetaaltijd van deze machine wordt berekend is confidentieel. Wel kan geconcludeerd worden dat dit project een terugbetaaltijd zal hebben van minder dan vijf jaar. Dit betekent dat het project zeker financieel interessant is om te verwezenlijken.

6 Besluit

Uit een visuele analyse van het huidige inpakproces kan geconcludeerd worden dat er slecht drie van de acht handelingen geautomatiseerd zijn. De andere vijf handelingen gebeuren handmatig of semiautomatisch. Na een tijdsanalyse van het proces blijkt dat de pijnpunten zich bevinden op meerdere deelprocessen zijnde: het horizontaal strappen van een coil, het bevestigen van een coil aan een pallet en het inpakken van een coil voor verzending. Dit zijn de deelprocessen die volledige handmatig uitgevoerd worden. De huidige doorlooptijd van de inpaklijn bedraagt ongeveer 126 minuten voor tien banden.

In een eerste fase wordt een horizontale strapping machine toegevoegd aan het begin van het inpakproces. Deze machine zal ervoor zorgen dat een zeer intensieve manuele handeling kan vervangen worden door een autonoom proces. Dit zorgt voor een reductie van één FTE per shift.

Mits implementatie van alle voorgestelde installaties namelijk: een palletinstallatie, een extra verticale strapping machine, een balkjesdispenser, bevestigingsmachine, inpakmachine en bijkomende rollenbanen kan het bestaande inpakproces verder en volledig geautomatiseerd worden en kunnen in totaal twee FTE's per shift verminderd worden.

Na een nieuwe tijdsanalyse van de geoptimaliseerde configuratie blijkt dat de doorlooptijd voor tien banden ongeveer 50 minuten zal duren. Dit betekent dat de inpaktijd met meer dan de helft is gereduceerd of dat de inpakcapaciteit kan verdubbeld worden. De grootste tijdswinst wordt gerealiseerd doordat het proces volledig geautomatiseerd kan verlopen.

De totale kostprijs van dit project komt neer op iets meer dan één miljoen euro. Hiervan is reeds al één derde uitbesteed voor het realiseren van de horizontale strapping machine. Het overige bedrag van deze investering zal verdeeld worden over de komende jaren.

Na de implementatie van de horizontale strapping machine is een volgende logische stap in dit optimalisatieproject het toevoegen van de bevestigingsmachine, de balkjesdispenser en het omvormen van de inpaktafels naar rollenbanen. Een investering in dit deelproces kan zorgen dat de banden die enkel bevestigd en niet ingepakt moeten worden volledig automatisch afgewerkt kunnen worden. Het gevolg van deze investering is dat hierbij al op de helft van de productie een tijdswinst kan geboekt worden. Deze machine zorgt ook voor een reductie van één FTE per shift. Deze stap zou terugbetaald kunnen zijn op twee jaar.

Tenslotte zal de implementatie van de resterende deelmachines zorgen dat het volledige potentieel van de inpaklijn bereikt kan worden.

Literatuurlijst

- [1] N. Rome, "Renovatie omstapelaar," Genk, 2015.
- [2] Aperam, "APERAM," 2011. [Online]. Available: <http://www.aperam.com/>. [Accessed: 04-Oct-2017].
- [3] S. TITAN Strapping, "TITAN Strapping Systems - K8000," 2018. [Online]. Available: <http://strapping.titan-schwelm.de/us/heads/titans-newest-the-k8000/>. [Accessed: 02-May-2018].
- [4] SEW-EURODRIVE, "SEW Eurodrive," 2018. [Online]. Available: https://www.sew-eurodrive.be/products/gearmotors/standard_gearmotors/helical_gearmotors_rdr/helical_gearmotors_rdr.html. [Accessed: 07-Mar-2018].
- [5] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch, and J. VoBiek, *Roloff/Matek Machineonderdelen Theorieboek*. Acedemic Service, 2013.
- [6] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch, and J. VoBiek, *Roloff/Matek Machineonderdelen Tabellenboek*. Acedemic Service, 2013.
- [7] IBD, "Klaplager IBD wickeltechnik," 2018. [Online]. Available: <http://www.ibd-wt.de/nl/producten/klaplagers/klaplager-als-flenslager.html>. [Accessed: 04-Apr-2018].

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Herontwerp en implementatie van inpaklijn voor RVS coils

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,

Rome, Niels

Datum: **4/06/2018**