

2018 • 2019

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Alternatief buffermechanisme voor PCB-buffers die gebruik maken van uitwendig vertande tandriemen

PROMOTOR :

ing. John BIJNENS

PROMOTOR :

Dhr. Marcel VANDEBROEK

Dennis Doupagne

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

Gezamenlijke opleiding UHasselt en KU Leuven



2018•2019

Faculteit Industriële ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterthesis

Alternatief buffermechanisme voor PCB-buffers die gebruik maken van uitwendig vertande tandriemen

PROMOTOR :

ing. John BIJNENS

PROMOTOR :

Dhr. Marcel VANDEBROEK

Dennis Doupagne

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



Woord vooraf

Deze paper is het eindrapport van mijn masterproef voor de opleiding industrieel ingenieur elektromechanica. Voor de start van deze masterproef was ik op zoek naar een opdracht die me toeliet een installatie of machine te ontwerpen. Hierbij kwam ik uit bij IPTE Factory Automation, een bedrijf dat onder andere gespecialiseerd is in automatisatie van productielijnen voor printplaten. Zij hebben twee machines die werken als buffer voor printplaten in productielijnen waarbij op maat gemaakte tandriemen gebruikt worden om de printplaten te bufferen. Deze tandriemen bedragen ongeveer 20 % van de totaalkost voor de FIFO-machine en 15 % voor de LIFO-machine. Hiervoor wenste het bedrijf een goedkoper alternatief.

Eén van mijn taken was het zoeken naar alternatieve buffermechanismen. Hierbij werden twee voorwaarden opgelegd. Een eerste voorwaarde was dat dit alternatief goedkoper moet zijn dan de tandriemen die in de huidige machine gebruikt worden om de PCB's te bufferen. Een tweede voorwaarde was dat alle specificaties van de oorspronkelijk machines behouden worden. De eerste voorwaarde was geen probleem want alle mogelijke oplossingen werden geëvalueerd d.m.v. een kostenanalyse. Dezelfde specificaties behouden daarentegen was wel een uitdaging. De tandriemen zorgen zowel voor het bufferen als voor het bewegen van de buffer wat deze methode zeer compact maakt. Daarnaast waren beide machines verschillend in grootte. Hierbij zorgde de kleinste machine voor problemen. Omdat deze zo compact is, pasten de meeste oplossingen niet in deze installatie.

Dit project was niet mogelijk geweest zonder de ondersteuning van mijn interne promotor ing. John Bijmens, die me steeds bijstond bij technische aspecten van dit project alsook dr. Jeroen Lievens voor de ondersteuning in rapportering van deze masterproef.

Tot slot wil ik ook mijn externe promotor ing. Marcel Vandebroek bedanken voor de ondersteuning en begeleiding van dit project.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Tabellenlijst	5
Figurenlijst.....	7
Abstract.....	9
Abstract in English.....	11
1 Projectopzet.....	13
1.1 Situering.....	13
1.2 Probleemstelling.....	14
1.3 Doelstellingen.....	14
1.4 Methode.....	15
1.5 Vooruitblik	16
2 Bronnenstudie	17
2.1 Inleiding.....	17
2.2 Onderzoek bestaande uitvoeringen.....	17
2.3 Uitvoering met tandriemen	18
2.4 Uitvoering met lineair aangedreven rek	18
2.4.1 Aangedreven leggers	19
2.4.2 Niet-aangedreven leggers met tandlatten	19
2.4.3 Niet-aangedreven leggers met actuator.....	20
2.5 Evaluatie informatie uit bronnen.....	20
3 Resultaten	21
3.1 Methodologisch overzicht	21
3.1.1 Ketting met attachments.....	22
3.1.2 Andere soort tandriemen.....	23
3.1.3 Prototype lineaire rek met tandlatten.....	24

4	Toepassing Rek in FIFO-machine	29
4.1	Technische omschrijving van de huidige installatie	29
4.2	Technische omschrijving alternatief	31
4.2.1	Rek	32
4.2.2	Tandriem.....	35
4.2.3	Aandrijving rek	35
4.2.4	Connectie sensoren en andere onderdelen	38
5	Uiteindelijke kost alternatief	39
6	Besluit	41
7	Bronnenlijst	43

Tabellenlijst

Tabel 1: Morfologisch overzicht.....	21
Tabel 2: Kostenanalyse ketting FIFO	22
Tabel 3: Uitgespaarde kost FIFO-machine.....	22
Tabel 4: Kostenanalyse ketting LIFO	22
Tabel 5: Uitgespaarde kost LIFO-machine.....	23
Tabel 6: Kostenanalyse rek met tandriem aandrijving.....	26
Tabel 7: Uitgespaarde kost	27
Tabel 8: Materialen rek.....	34
Tabel 9: Tabel selecteren tandriem d.m.v. maximale omtrekskracht.....	35
Tabel 10: Uiteindelijke kostprijs alternatief.....	39

Figurenlijst

Figuur 1: LIFO-buffer IPTE gevuld met printplaten.....	13
Figuur 2: LIFO-Buffer IPTE (Links), FIFO-buffer IPTE (Rechts)	14
Figuur 3: Voorbeeld morfologisch overzicht met mogelijke oplossingen.....	15
Figuur 4: Onderverdeling van buffermechanismen	17
Figuur 5: Voorbeeld tandriem-mechanisme met transportband	18
Figuur 6: Voorbeeld tandriem-mechanisme met intrekbare rollers. Uitgestoken (links) en ingetrokken (rechts).....	18
Figuur 7: Rek met aangedreven leggers (Links) en enkele legger met pulleys en transportband (Rechtsboven).....	19
Figuur 8: Rek met tandlatten (groen), rollers (oranje), intrekbare rail (blauw)	19
Figuur 9: Niet-aangedreven legger met actuator	20
Figuur 10: Prototype rek (isometrisch- en zijaanzicht)	24
Figuur 11: Voor- en zijaanzicht LIFO-machine	25
Figuur 12: Voor- en zijaanzicht FIFO-machine	25
Figuur 13: Eén zijde van de huidige installatie (isometrisch- en achteraanzicht).....	29
Figuur 14: Systeem dat beide kanten van de buffer naar elkaar laat bewegen	30
Figuur 15: Omschrijving alternatief (isometrisch-, zij- en achteraanzicht).....	31
Figuur 16: Balk van het rek (isometrisch).....	32
Figuur 17: Rek (isometrisch-, achter- en zijaanzicht)	33
Figuur 18: Samenstelling van maakdeel en koopdeel met tandriemprofiel (isometrisch- en zijaanzicht)	33
Figuur 19: Maakdeel verbinding rek met lineaire geleider (Zij- en bovenaanzicht)	34
Figuur 20: Catalogus tandriemwielen Misumi.....	36
Figuur 21: Bevestiging motor.....	36
Figuur 22: Opspanstelsysteem oude installatie waarvan spanner en frame doorzichtig gemaakt zijn om de bout weer te geven.	37
Figuur 23: Volgende as bovenaan in installatie met spanstelsysteem (isometrisch- en achteraanzicht)	37
Figuur 24: Rollers (blauw) met geleiding (groen) gemonteerd op het maakdeel ter vervanging van de frontplaat	38
Figuur 25: Maakdeel vervanging frontplaat.....	38

Abstract

Deze thesis onderzoekt of er een goedkoper alternatief is voor printplaat-buffers die gebruikmaken van uitwendig vertande tandriemen. Deze oplossing werd voor het bedrijf IPTE Factory Automation gezocht te Genk. Zij produceren onder andere twee machines die printplaten bufferen: een FIFO- (first in, first out) en LIFO-machine (last in, first out) die gebruik maken van uitwendig vertande tandriemen om de printplaten te bufferen. Hierbij moest het alternatieve buffermechanisme dezelfde specificaties hebben als de originele machines.

Bij de start zijn er alternatieven gezocht voor het bufferen van de PCB's (Printed circuit board). Dit werd gedaan door de installaties van de concurrentie te bekijken en door andere technische oplossingen voor het bufferen te bedenken. Hiervoor is de methode van 'Van den Kroonenberg' gebruikt. Hierna is er een initiële kostenanalyse uitgevoerd om de alternatieven ten opzicht van elkaar te evalueren. Vervolgens is er een prototype gemaakt binnen CREO Parametric om hieruit de uiteindelijke kostprijs te bepalen van de maak- en koopdelen.

Uiteindelijk bleek het alternatief met een lineair aangedreven rek de beste oplossing. Hierbij kwam de conclusie dat wanneer dit alternatief toegepast werd op de LIFO- en de FIFO-machine, dit tot dezelfde machine zou leiden. Hierdoor werd ervoor gekozen om dit alternatief enkel in de FIFO-machine te installeren. Dit bespaart een kost uit van 20,87 % t.o.v. de huidige FIFO-machine.

Abstract in English

In this paper a cheaper alternative for PCB-buffers, which use a timing-belt-principle, is researched. This alternative was researched for the company IPTE Factory Automation in Genk. They produce two PCB-buffers among other things: a FIFO- (First in, first out) and a LIFO-machine (Last in, first out) which both use a timing belt to buffer the PCB's. This solution needed to have the same specification as the original machines.

For starters, alternative buffer mechanisms were searched for by looking at other producers of these types of buffers and by coming up with new technical solutions. This was done using the method of 'Van den Kroonenberg'. Cost analysis were conducted to evaluate each alternative. A digital prototype was then made in Creo Parametric. Drawings were made for all the make parts in this assembly to get a better view of the total cost of this alternative.

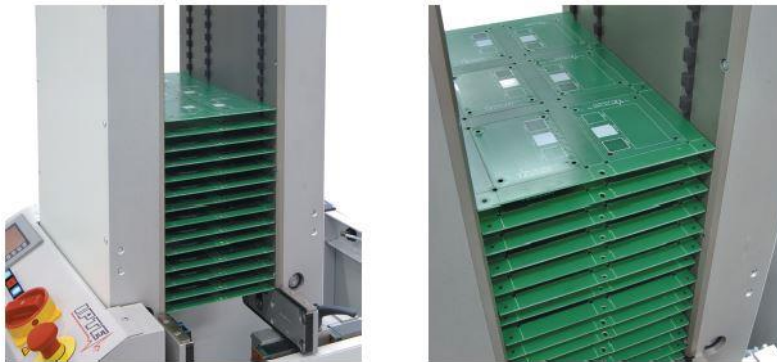
In practical and economic terms, the alternative with a linearly driven rack proved to be the best solution. Furthermore, there was concluded that when implementing this alternative in both machines, they would both lead to the same solution. As a result, it was decided that this alternative would only be implemented into the FIFO-machine and not in the LIFO-machine. This has saved a cost of 20,87% compared to the current FIFO-machine.

1 Projectopzet

1.1 Situering

IPTE Factory Automation is een bedrijf gelegen in Genk dat zorgt voor de engineering en productie van geautomatiseerde productie-, test- en behandelingsapparatuur voor PCB's¹ [1]. Hiertoe behoren printplaatbuffers die instaan voor het bufferen, no-good-bufferen² en koelen van printplaten in een productielijn.

De huidige machines zijn voorzien van smalle transportbanden aan weerszijden die de printplaten ondersteunen en vervoeren. De transportband is echter niet doorlopend maar wordt onderbroken door tandriemen waarvan er meerdere voorzien zijn aan beide zijden. Deze riemen bufferen de printplaten. Ze zijn aan de buitenzijde voorzien van blokjes waarop de printplaat kan rusten. Indien een printplaat gebufferd moet worden, worden de riemen aangedreven waardoor de printplaat, ondersteund door de blokjes, mee naar boven zal bewegen. (zie Figuur 1)



Figuur 1: LIFO-buffer IPTE gevuld met printplaten [2].

Doordat printplaten in verschillende groottes voorkomen, moeten de machines ook aanpasbaar zijn aan de dimensies van de printplaat. De onderlinge afstand tussen de printplaten in de buffer is aanpasbaar in stappen van 20 mm. Deze waarde is afhankelijk van de pitch³ van de blokjes op de buitenzijde van de riem. Daarnaast is de afstand tussen beide zijden van de buffer ook instelbaar waardoor de breedte aangepast kan worden aan die van de printplaat. Ten slotte kan de buffer ook printplaten bufferen met verschillende lengtes omdat de riemen onderling op verschillende afstanden staan t.o.v. elkaar. Hierbij worden korte printplaten bijvoorbeeld gebufferd door de riemen die het dichtst bij elkaar staan.

¹ Printed Circuit Board

² Verwijderen van defecte printplaten uit de productielijn, waarbij deze worden opgeslagen in de buffer.

³ De center-tot-center afstand van de blokjes op de riem.

Er zijn twee bufferprincipes die gebruikt worden: FIFO⁴ (First in, first out) en LIFO⁵ (Last in, first out). Voor beide is een aparte machine gemaakt. (zie Figuur 2) Deze machines bufferen beide d.m.v. getande riemen met blokjes maar hebben een verschillende bouwwijze.



Figuur 2: LIFO-Buffer IPTE (Links) [2], FIFO-buffer IPTE (Rechts) [3]

1.2 Probleemstelling

Het huidige concept werkt, maar de getande riemen zijn erg duur omdat deze op aanvraag gemaakt worden. Momenteel is de kostprijs van de riemen ongeveer 15 % van de totale kostprijs bij de LIFO-machine en 20 % van de FIFO-machine.

1.3 Doelstellingen

Het doel van deze masterproef is om een alternatief te vinden voor het bufferen van de printplaten met een oplossing die zowel voor de FIFO- als LIFO-buffers gebruikt kan worden.

De hoofddoelstelling is een goedkoper alternatief te vinden om de printplaten te bufferen waarbij de ingenomen oppervlakte van de machine onveranderd blijft. Voor de FIFO-machine bedraagt deze 500x780 mm² en voor de LIFO-machine 500x760 mm².

Daarnaast is er gewenst dat de specificaties van de huidige machine onveranderd blijven. De belangrijkste specificaties zijn de volgende: Buffercapaciteit (FIFO: 25 PCB's, LIFO: 40 PCB's), variabele PCB grootte (FIFO: b= 50-360 mm, l=70-460 mm) (LIFO: b= 50-360 mm, l= 70-460 mm) en pitch (FIFO: p= 20 mm, LIFO: p= 20 mm). [2] [3]

⁴ Hierbij is de printplaat die als eerste opgenomen wordt in de buffer, ook de eerste die de buffer verlaat.

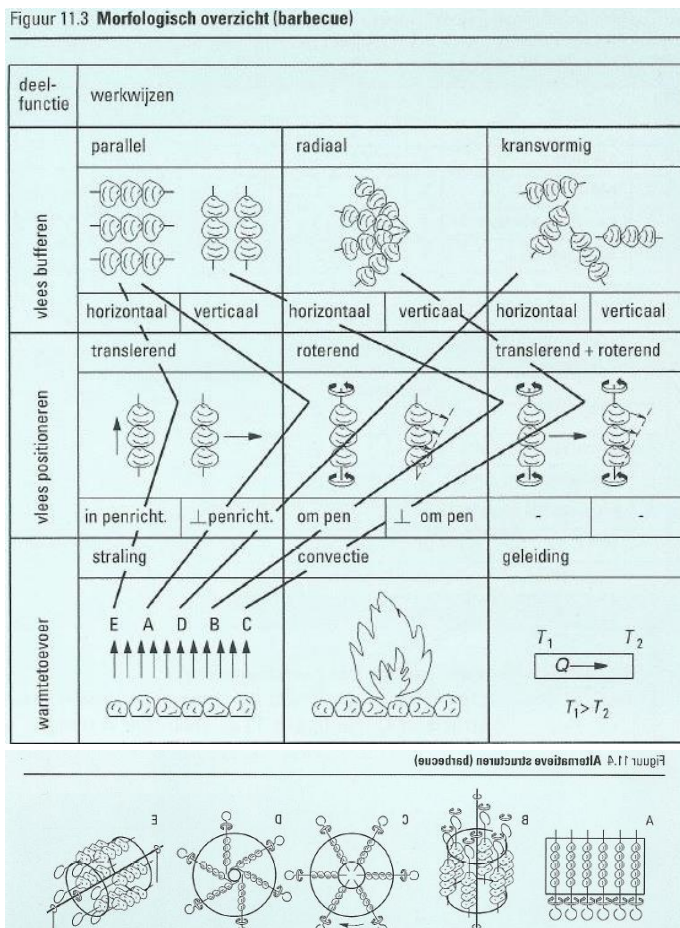
⁵ Hierbij is de printplaat die als eerste opgenomen wordt in de buffer, de laatste die de buffer verlaat.

1.4 Methode

In dit project wordt er gebruik gemaakt van de ontwerpmethode van Van den Kroonenberg. Hierbij bestaat het methodisch ontwerpproces uit drie fasen: Probleemdefiniëring, werkwijzebepaling en vormgeving.

Bij de probleem definiërende fase moet een lijst met voorwaarden en wensen voor het project vastgelegd worden samen met het bedrijf. Hierbij is het van belang dat de doelen en eisen eenduidig en volledig opgesteld worden om een overzicht te krijgen van het project en om toekomstige onenigheden te voorkomen.

Vervolgens wordt de werkwijze bepaling uitgevoerd. Deze heeft als doel het bekomen van een principeschets van het ontwerp. Eerst wordt het op-te-lossen probleem onderverdeeld in deelproblemen waarna er voor elk deelprobleem gebrainstormd wordt naar mogelijke oplossingen. Deze resultaten worden dan in een morfologisch overzicht gegroepeerd per deelprobleem. Het morfologisch overzicht wordt gebruikt als een visueel hulpmiddel om verschillende combinaties van oplossingen te vergelijken t.o.v. elkaar. (zie Figuur 3)



Figuur 3: Voorbeeld morfologisch overzicht met mogelijke oplossingen [4, p. 151]

Hierna worden de meest praktische ontwerpen verder onderzocht in een kostenanalyse om na te gaan of deze weldegelijk tot een kostenvermindering leiden t.o.v. de huidige installatie.

Laatst wordt er aan vormgeving gedaan van de concepten uit de voorgaande stap. In dit project wordt er gebruik gemaakt van het 3D-CAD-programma Creo Parametric. De bestaande installaties zijn voor aanvang van dit project ook al in Creo getekend door IPTE zelf. Deze kunnen als basis dienen om aanpassingen in uit te voeren en prototypes in te passen. Uit deze stap wordt uiteindelijk het finale ontwerp gekozen dat de beste oplossing biedt voor deze installatie.

1.5 Vooruitblik

Eerst is er een bronnenstudie uitgevoerd om een overzicht te krijgen van de reeds bestaande buffermechanismen voor PCB's. Deze worden gecategoriseerd en geëvalueerd of deze ook een oplossing voor dit project kunnen zijn.

Vervolgens wordt een morfologisch overzicht gemaakt met de mogelijke oplossingen voor het buffermechanisme, waarna een kostenanalyse wordt uitgevoerd. Deze kostenanalyse wordt dan gebruikt om de alternatieven t.o.v. elkaar af te wegen.

Laatst wordt de implementatie van het gekozen alternatief binnen Creo besproken. En wordt de initiële kostenanalyse geëvalueerd.

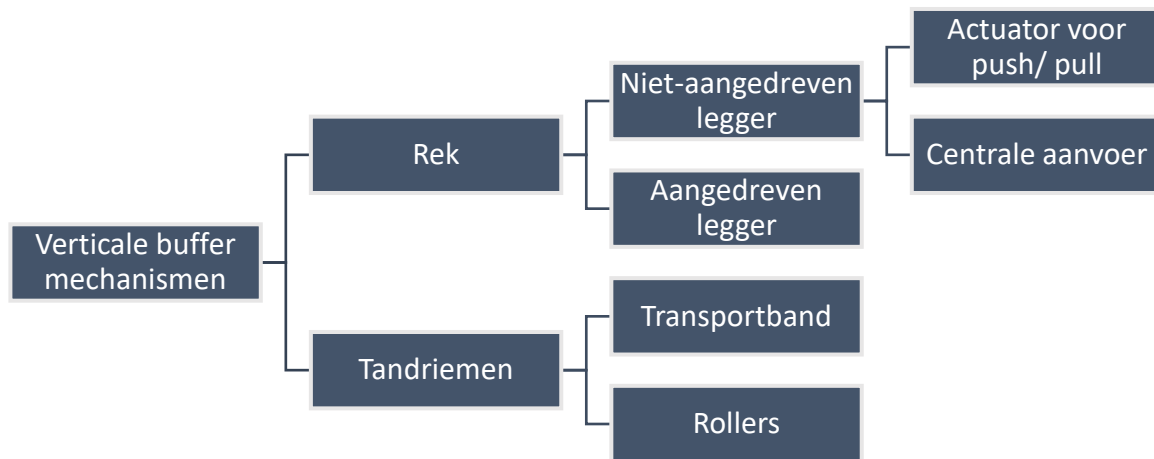
2 Bronnenstudie

2.1 Inleiding

Het probleem van de bestaande installaties is dat de kostprijs van de riemen, die zorgen voor de buffering van de printplaten, te hoog is. Aangezien IPTE Automation niet de enige producent is van deze toestellen, wordt er onderzoek gedaan naar de manieren waarop de concurrentie deze buffering uitvoert. Dit is gedaan door middel van brochures en websites van deze producenten.

2.2 Onderzoek bestaande uitvoeringen

Na het vergelijken van de machines van verschillende bedrijven is de onderstaande onderverdeling gemaakt (zie Figuur 4). De toestellen kunnen in twee uitvoeringsvormen voorkomen: tandriemen met blokjes en lineair aangedreven rekken.



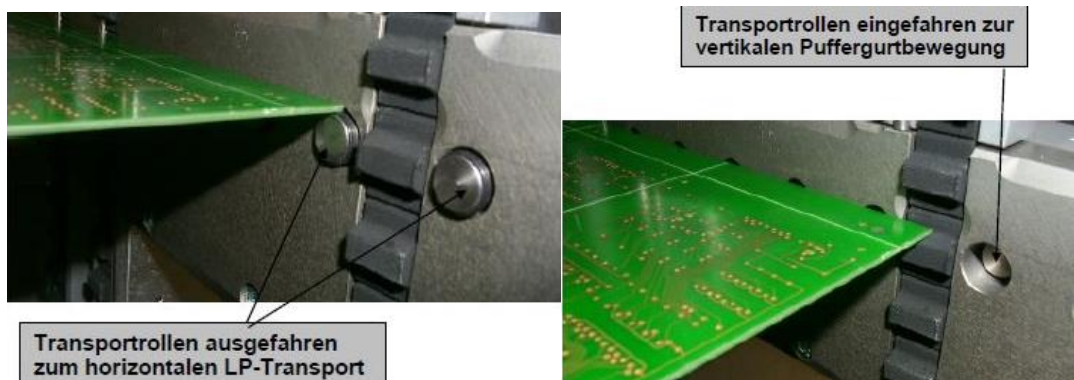
Figuur 4: Onderverdeling van buffermechanismen

2.3 Uitvoering met tandriemen

In het algemeen is de werking van alle uitvoeringen met de tandriemen van andere producenten gelijk aan die van de huidige IPTE-machines. Hierbij zijn er 2 verschillende uitvoeringen: met transportband (zie Figuur 5) of met rollers (zie Figuur 6). De rollers zijn intrekbaar waardoor ze niet in de weg zitten wanneer de tandriemen een printplaat omhoog of omlaag moeten bewegen. Terwijl de transportband ofwel in verschillende delen bestaat of langs de tandriemen om moet gaan om niet in de weg te zitten van de tandriemen. De LIFO-machine van IPTE [2] maakt gebruik van een transportband. De FIFO-machine van IPTE [3] en de machine van Asys [5] maken gebruik van intrekbare rollers



Figuur 5: Voorbeeld tandriem-mechanisme met transportband. [2, p. 1]



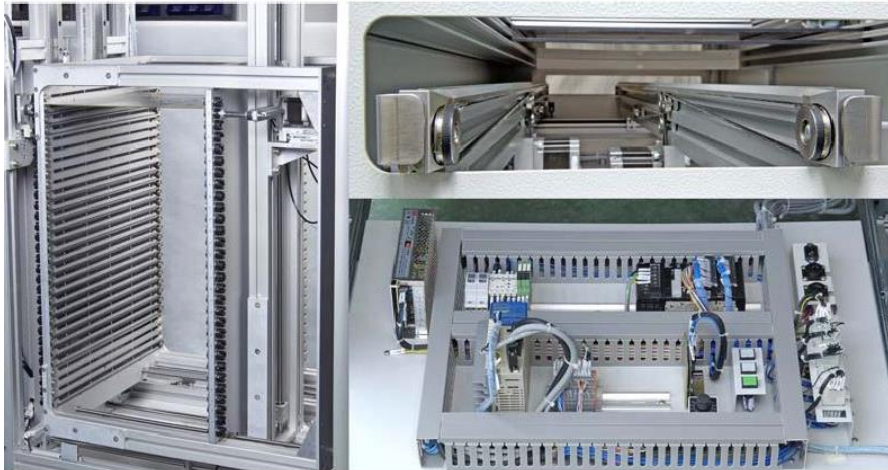
Figuur 6: Voorbeeld tandriem-mechanisme met intrekbare rollers. Uitgestoken (links) en ingetrokken (rechts). [5, p. 5]

2.4 Uitvoering met lineair aangedreven rek

Het lineair aangedreven rek kan op verschillende manieren uitgevoerd worden waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen aangedreven en niet-aangedreven leggers waarop de printplaten rusten. Verder kunnen de niet-aangedreven leggers uitgevoerd worden d.m.v. een centrale aanvoer (Transportband of roller) of een actuator die de printplaten op de legger duwt.

2.4.1 Aangedreven leggers

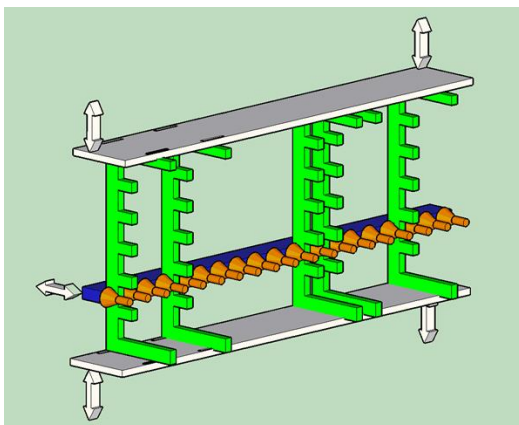
Hier wordt elke legger van het rek voorzien van een transportband (zie Figuur 7). Deze uitvoering wordt gebruikt door Asys [6] en FlexLink [7]. Dit is een eenvoudige bouwwijze omdat er geen rekening gehouden moet worden met de plaatsing van een centrale transportband of rollers. Het nadeel hiervan is het repetitief ontwerp want nu wordt elke legger voorzien van een motor, pulleys en transportband wat het ontwerp duurder en minder compact maakt.



Figuur 7: Rek met aangedreven leggers (Links) en enkele legger met pulleys en transportband (Rechtsboven). [7, p. 2]

2.4.2 Niet-aangedreven leggers met tandlatten

Een andere manier van uitvoering is die van de producent Nutek [8]. Hier worden de leggers vervangen door tandlatten die de printplaten slechts op enkele plaatsen ondersteunen. Om de printplaten aan te voeren gebruikt men rollers die zich in en uit kunnen bewegen zodat deze niet in de weg zitten van de printplaten bij het bufferen (zie Figuur 8).



Figuur 8: Rek met tandlatten (groen), rollers (oranje), intrekbare rail (blauw)

Doordat er gebruik gemaakt wordt van tandlatten i.p.v. leggers en er één centrale aandrijving van printplaten gebruikt wordt, is dit ontwerp materiaalefficiënter, goedkoper en lichter t.o.v. de aangedreven leggers. Daarnaast is de montage ook eenvoudiger omdat er minder onderdelen nodig zijn.

2.4.3 Niet-aangedreven leggers met actuator

Laatst maakt Simplimatic [9] gebruik van een niet-aangedreven legger waarbij de printplaten door middel van een lineaire geleider op het rek geduwd worden (zie Figuur 9). Om ze uit de buffer te verwijderen moeten ze eveneens geduwd worden. Het voordeel van deze uitvoering is dat het rek verwijderd kan worden uit de machine doordat er geen transportband of rollers in de weg zitten. Deze uitvoering is interessant voor 'no-good'-buffers. Hierbij worden de defecte printplaten opgeslagen en wanneer maximumcapaciteit bereikt is, wordt het rek uit de machine verwijderd en vervangen door een leeg rek.



Figuur 9: Niet-aangedreven legger met actuator [9]

2.5 Evaluatie informatie uit bronnen

Nu de verschillende uitvoeringen duidelijk zijn, kunnen deze t.o.v. elkaar vergeleken worden. Doordat IPTE gebruik maakt van het principe met tandriemen en het werkingsprincipe van deze bronnen dezelfde is, zijn deze bronnen niet bruikbaar binnen dit project. Er zal verder gegaan worden met het bouwprincipe met rek.

Aangezien de nieuwe oplossing dezelfde specificaties moet hebben als de huidige machine, zullen de aangedreven leggers en de niet-aangedreven leggers met push-/ pull-mechanisme wegvallen. Omdat deze te veel ruimte innemen om in te bouwen. Dan blijft er enkel de niet-aangedreven leggers met centrale aandrijving over.


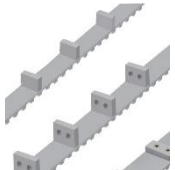


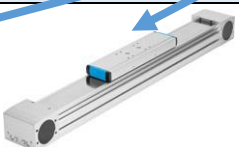

Ten slotte zijn er nog verschillende mogelijkheden om de lineaire beweging te verkrijgen van het rek. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een aangedreven spindel of een aangedreven lineaire geleiding. Dit zijn niet de enige manieren om deze beweging te verkrijgen en ook niet de goedkoopste. Om de afweging te maken welke het meest bruikbaar is, zal eerst een kostenanalyse gemaakt moeten worden om daarna deze t.o.v. elkaar te vergelijken rekening houdende met de compactheid en gemak van inbouw.

3 Resultaten

3.1 Methodologisch overzicht

Om naar alternatieve oplossingen te zoeken is het huidige te vervangen mechanisme opgedeeld in twee deelproblemen. Het buffermechanisme zorgt voor het opslaan van printplaten, daarnaast moet de buffer ook op en neer kunnen bewegen. Per probleem zijn er vervolgens mogelijke oplossingen gezocht en deze zijn weergegeven in de onderstaande tabel (zie Tabel 1).

Tabel 1: Morfologisch overzicht

	Ketting met attachments	Andere soort tandriemen	Lineair rek met tandlatten
Buffermechanisme	 [10]	 [11]	
Beweging buffer	Spindel	Tandriemas	Tandriem
	 [12]	 [13]	 [14]

Voor de bovenstaande mogelijkheden worden vervolgens kostenanalyses uitgevoerd om deze alternatieven t.o.v. elkaar af te wegen.

3.1.1 Ketting met attachments

Deze oplossing is analoog met die van de huidige tandriemen. Hierbij wordt er een ketting aangekocht waarop leggers gemonteerd kunnen worden. Het voordeel hierbij is dat net zoals bij de tandriemen, de ketting voor de buffering en beweging van de buffer zorgt. Dit maakt deze oplossing erg compact maakt.

Een nadeel van dit systeem is dat de leggers handmatig op de ketting gemonteerd moeten worden om de 20 mm om dezelfde pitch aan te houden zoals de huidige installatie. Voor de FIFO loopt dit op tot 140 leggers per ketting en dit voor 12 kettingen, wat erg veel is.

Bij het gebruik van een ketting is het van belang dat deze smeerloos is. Dit om onderhoud van de ketting en smeerresten op de printplaten te voorkomen. Hiervoor is een offerte aangevraagd. In onderstaande tabel wordt de prijs weergegeven:

Tabel 2: Kostenanalyse ketting FIFO

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
Metalen ketting, smeerloos (Tsubaki) (FIFO)	33,6m	164,75	5535,6
Kettingwielen	24	10	240
Totaal			5775,6

Tabel 3: Uitgespaarde kost FIFO-machine

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
Pulleys	24	14,94	358,56
Riemen	12	260	3120
Totaal			3478,56

Tabel 4: Kostenanalyse ketting LIFO

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
Metalen ketting, smeerloos (Tsubaki) (LIFO)	12m	164,75	1977
Kettingwielen	12	10	120
Totaal			2097

Tabel 5: Uitgespaarde kost LIFO-machine

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
Pulleys	12	14,94	239,28
Riemen	6	170	1020
Totaal			1259,28

De kost van de kettingen alleen is al hoger dan die van de riemen die in de huidige installatie gebruikt worden. Hierdoor valt dit alternatief weg als mogelijke oplossing.

3.1.2 Andere soort tandriemen

Momenteel zijn de tandriemen op maat gemaakt voor IPTE. Daarom is er gezocht naar een standaard riem die niet op maat gemaakt moet worden.

De tandriemen moeten elektrostatisch bestand zijn. Door wrijving van de printplaten over de riemen kan er een elektrostatische spanning ontwikkeld worden. Indien deze ontleast kan er schade optreden aan de printplaat. De uitwendige vertanding moet een vlak oppervlak hebben zodat de tand volledig in contact staat met de rand van de printplaat. Ten slotte moet de pitch 20 mm bedragen net zoals de tandriemen in de huidige installatie. Tandriemen met een grotere pitch zouden mogelijk ook gebruikt kunnen worden, maar deze zouden dan samengesteld gebruikt moeten worden zodat deze t.o.v. elkaar een pitch van 20 mm hebben. Bijvoorbeeld 2 riemen met een pitch van 40 mm waarbij de leggers van beide riemen op 20 mm t.o.v. elkaar ingesteld worden.

Uiteindelijk is er geen alternatief gevonden dat voldeed aan deze specificaties.

3.1.3 Prototype lineaire rek met tandlatten

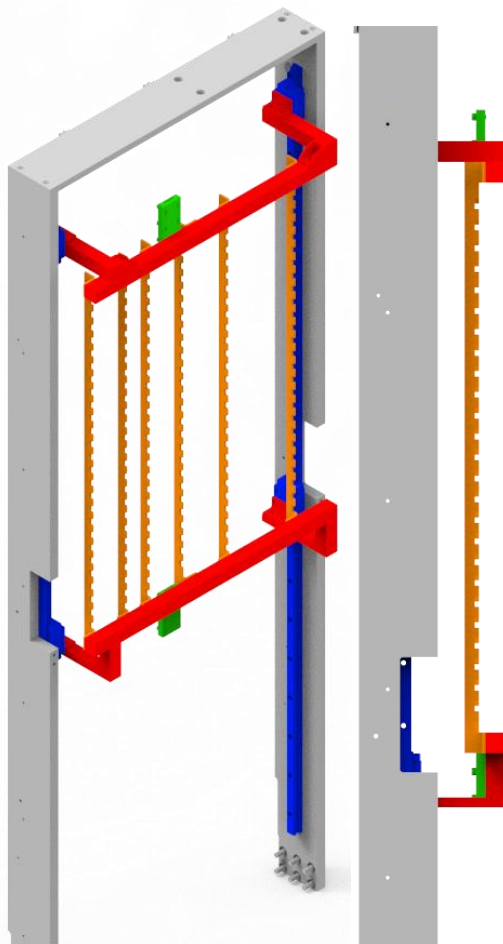
Uiteindelijk is er nog het alternatief dat gebruikmaakt van een rek (zie Figuur 10) opgebouwd met tandlatten (oranje). De vertanding op deze latten heeft een pitch van 20 mm net zoals de huidige tandriemen. Deze tandlatten worden op ITEM-profielen bevestigd (rood).

Dit rek heeft een mechanisme nodig om het lineair op en neer te laten bewegen. Dit kan door middel van een spindel, tandriemas of tandriem met lineaire geleiding.

Een tandriemas die over de hele lengte wordt uitgevoerd van de machine is te duur. Daarnaast is de nauwkeurigheid die een tandriemas biedt ook niet nodig bij deze toepassing. Een aangedreven spindel zorgt voor veel structurele veranderingen in de huidige machine t.o.v. de tandriem. Bij de spindel zijn twee draadstangen nodig die beide apart aangedreven moeten worden door een motor waardoor er ook vier motoren nodig zijn in deze installatie.

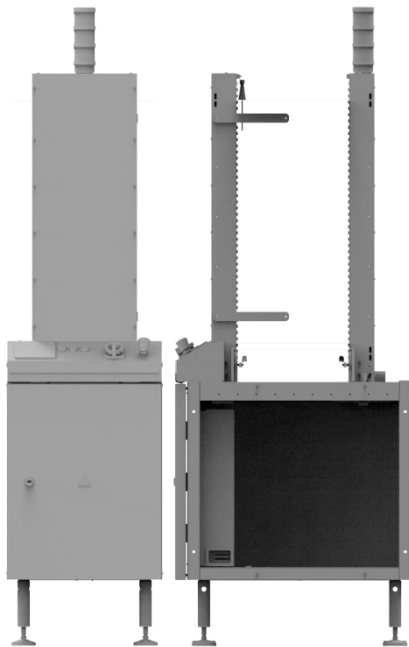
Bij het gebruik van een tandriem is enkel een tandriem en één motor nodig per zijde van de buffer. Hierdoor was het gebruik van een tandriem met lineaire geleider de beste oplossing.

De tandriem kan aan het rek bevestigd worden met een tandriemklem (groen) die het profiel van de tandriem heeft. Daarnaast zijn lineaire geleidingen nodig om te verzekeren dat het rek steeds een rechte verticale beweging maakt. De lineaire geleidingen (blauw) die hiervoor nodig zijn, worden ook al aangekocht door het bedrijf en deze kunnen ook eenvoudig gemonteerd worden tegen het frame van de machine.



Figuur 10: Prototype rek (isometrisch- en zijaanzicht)

De opdracht houdt onder andere in om een alternatief te bedenken voor beide machines (FIFO en LIFO), maar na de installaties te bekijken bleek dat het alternatief met het lineaire rek voor beide machines tot dezelfde uitkomst zou leiden. Het alternatief met het lineaire rek zal verder toegepast worden in de FIFO-machine omdat in deze machine de minste structurele veranderingen aangebracht moeten worden om dit in te bouwen.



Figuur 11: Voor- en zijaanzicht LIFO-machine



Figuur 12: Voor- en zijaanzicht FIFO-machine

Vervolgens is er een initiële kostenanalyse uitgevoerd voor het lineair aangedreven rek met tandlatten:

Tabel 6: Kostenanalyse rek met tandriem aandrijving

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
ITEM-profielen	3,6m	3,74	13,46
Tandlatten	12	20 (geschat)	240
L-profiel rek	8	0,63	5,04
Pulleys	4	14,8	59,02
Tandriemklem	4	12,17	48,68
L-profiel geleiding	8	3	24
Lineaire geleiding	4	90	360
Vervangplaat	2	100 (geschat)	200
Tandriem	-	-	224
As	1	5 (geschat)	5
Totaal			1179,2

Door de veranderingen binnen de installatie vallen er ook enkele componenten weg uit de huidige machine. Tabel 7 geeft deze uitgespaarde kost weer.

Tabel 7: Uitgespaarde kost

Onderdeel:	Aantal:	Prijs: [€]	Totaal: [€]
Pulleys	24	14,94	358,56
Riemen	12	260	3120
Plaat	2	273,45	546,9
Sensoren	4	56,43	225,72
Assen	2	19	38
Totaal			4315,44

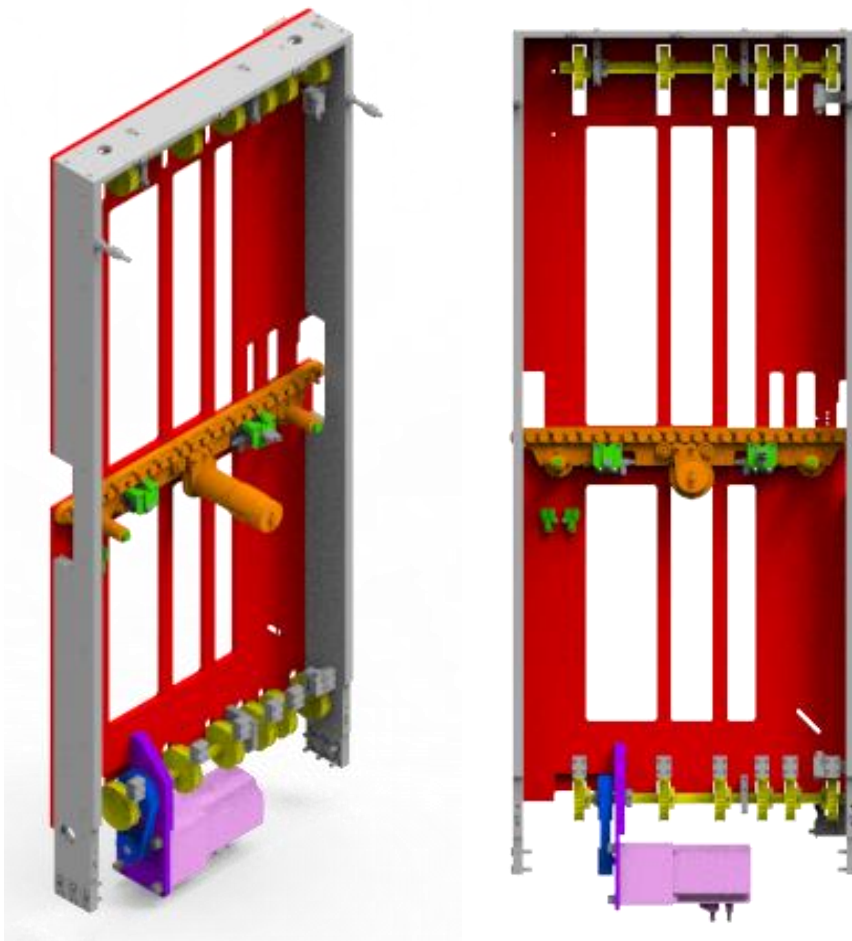
Uit de kostenanalyse van het eerste prototype bleek er een erg grote besparing te zijn wanneer het lineair aangedreven rek toegepast zou worden i.p.v. de huidige tandriemen. Dit verschil bedraagt € 3136,24. Deze besparing is erg groot doordat er veel componenten wegvallen of vervangen kunnen worden door goedkopere componenten.

4 Toepassing Rek in FIFO-machine

4.1 Technische omschrijving van de huidige installatie

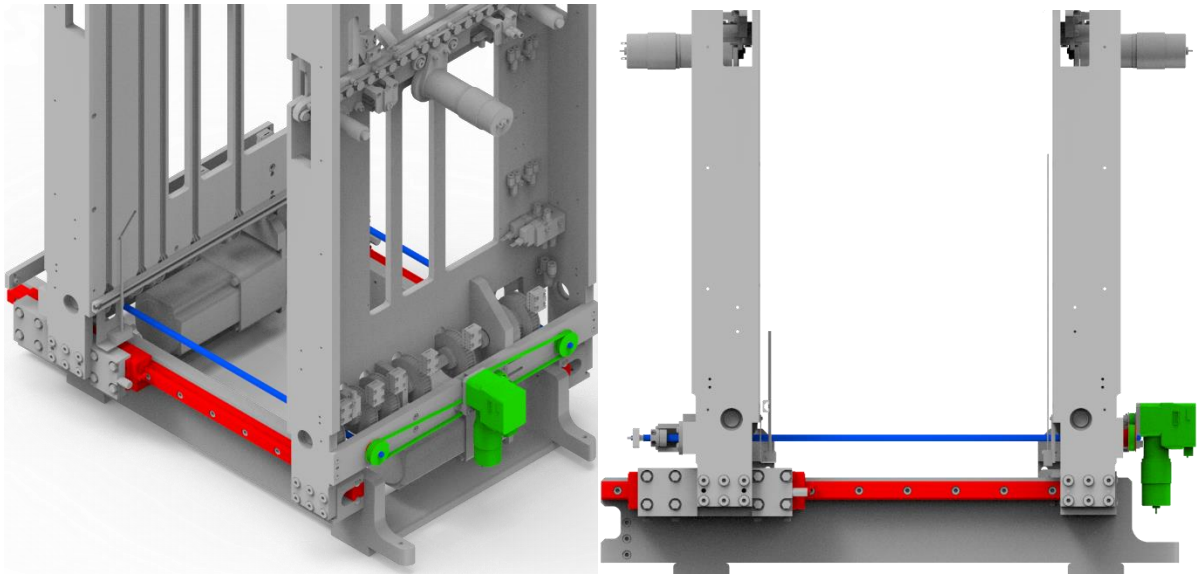
De huidige FIFO-machine (zie Figuur 13) gebruikt uitwendig vertande tandriemen, dewelke onderaan de installatie aangedreven worden door een elektromotor (roze). Bovenaan in de installatie is een as voorzien met tandriemwielen die de beweging van de motor volgt. Onderaan staat een as die aangedreven wordt d.m.v. een overbrenging (blauw) door de elektromotor. Beide assen zijn in het geel aangeduid.

Vervolgens is er nog een plaat gemonteerd die het hele oppervlak bedekt (rood). Hierop worden verschillende componenten gemonteerd. De voornaamste componenten hiervan zijn de pneumatische actuatoren (groen) die de rollers (oranje) besturen en de elektromotor die bevestigd wordt door middel van een plaat (paars).



Figuur 13: Eén zijde van de huidige installatie (isometrisch- en achteraanzicht)

Laatst is er nog een motor (zie Figuur 14, groen) voorzien die beide zijden van de buffer van of naar elkaar kan laten bewegen. Dit gebeurt door draadstangen (blauw) die beide delen van de buffer verbinden. Deze stangen worden aangedreven en door middel van een geleiding (rood) onderaan de installatie kunnen beide delen t.o.v. elkaar bewegen.



Figuur 14: Systeem dat beide kanten van de buffer naar elkaar laat bewegen

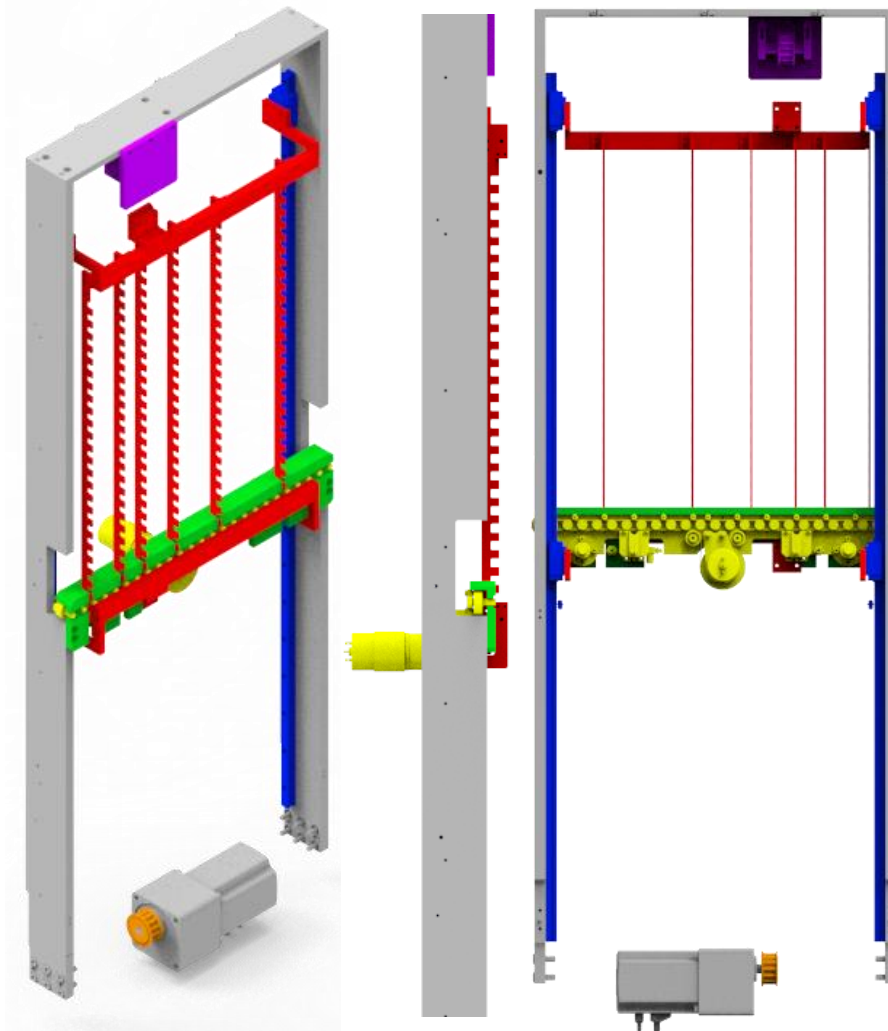
4.2 Technische omschrijving alternatief

De riemen en de volgende as met riemwielen, zijn verwijderd. Er moet nog steeds een volgende as zijn, maar deze kan veel korter omdat er slechts één riemwiel nodig is voor de aandrijving van het rek. (zie Figuur 15, paars)

De frontplaat die gebruikt werd voor montage valt ook weg omdat deze in de weg zit van het bewegende rek (rood). Deze plaat wordt vervangen door een kleinere plaat (groen) waarop de aangedreven rollers (geel) gemonteerd kunnen worden.

De motor wordt apart op het frame bevestigd en de reductie is ook weggevallen. Deze reductie is vervangen door een riemwiel dat rechtstreeks op de motor bevestigd is (oranje).

Er wordt ook een lineaire geleiding (blauw) geplaatst aan beide zijden van de installatie. Deze begeleidt het rek zodat het steeds een rechte beweging uitvoert.



Figuur 15: Omschrijving alternatief (isometrisch-, zij- en achteraanzicht)

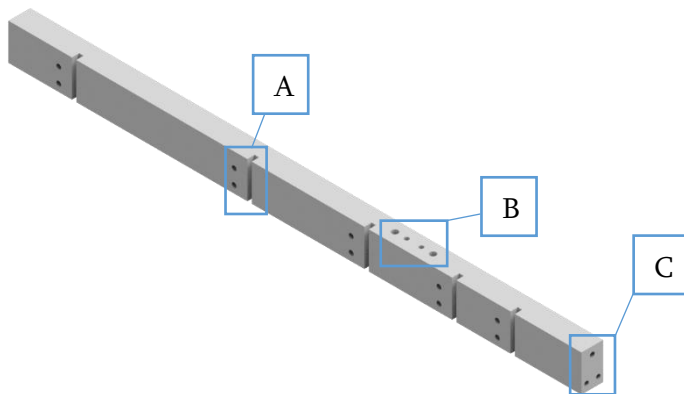
4.2.1 Rek

Het rek bestaat uit twee parallelle balken (zie Figuur 16 en 17, blauw) waar alle andere onderdelen van het rek op bevestigd worden. Het eerste prototype van het rek is gemaakt d.m.v. ITEM-profielen. Dit was gedaan om de montage te vereenvoudigen en het aantal maaddelen te verminderen. Uiteindelijk bleek dit alternatief niet te passen omdat dit de ruimte in de installatie te nipt zou maken. Daarom is het ontwerp opnieuw gemaakt met een balkprofiel als basis die machinaal bewerkt moet worden om de onderdelen op te monteren.

De sleuven zijn voorzien om de tandlatten juist uit te lijnen tijdens de montage. De getapte gaten naast de sleuven dienen om de L-profielen op te schroeven die de tandlatten met deze balk verbinden. (A)

Bovenop de balk zijn er twee getapte gaten en twee gaten voor perspennen voorzien waarop de tandriemklem bevestigd kan worden. (B)

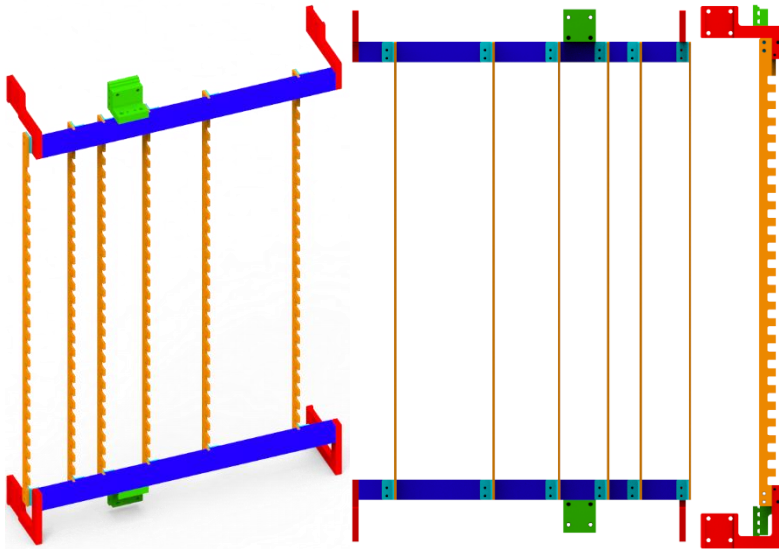
In de zijkant van de balk zijn drie gaten voorzien voor de verbinding met de lineaire geleiding op te monteren. Dit zijn twee gaten voor perspennen en één gat voor een bout. (C)



Figuur 16: Balk van het rek (isometrisch)

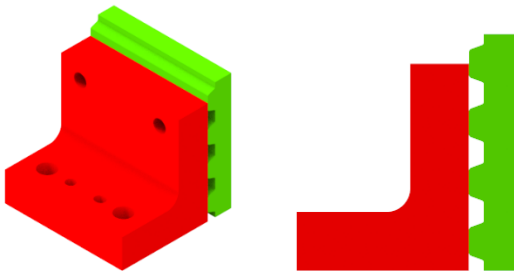
Tandlatten (oranje) worden gebruikt ter vervanging van de getande riemen en hebben dezelfde pitch als de getande riemen (20mm).

De tandlatten worden bevestigd aan de balk doormiddel van L-profielen (cyaan). Deze L-profielen zijn niet rechtstreeks geplooid op de tandlat omdat er hiervoor een stijf materiaal gekozen is wat het moeilijk maakt om koud te vervormen.



Figuur 17: Rek (isometrisch-, achter- en zijaanzicht)

De aandrijving gebeurt door middel van tandriemen. Deze worden aan het rek verbonden door tandriemklemmen (groen) die hetzelfde profiel hebben als de tandriem zelf waardoor een vormgesloten verbinding bekomen wordt. Deze component bestaat uit het gedeelte met het tandprofiel (zie Figuur 18, groen) en een L-profiel (zie Figuur 18, rood) waartegen het tandprofiel geschroefd kan worden en het geheel bevestigd kan worden op de balk. Het tandprofiel is een koopdeel en het L-profiel is een maakdeel.



Figuur 18: Samenstelling van maakdeel en koopdeel met tandriemprofiel (isometrisch- en zijaanzicht)

Ten slotte moet het rek ook verbonden worden met de lineaire geleiding. Hiervoor zijn maakdelen (zie Figuur 17, rood) ontworpen die overeenkomen met de karretjes op de lineaire geleiding en erop vast gemonteerd kunnen worden door middel van bouten. Het bovenaanzicht van figuur 19 laat de uitsparing zien die overeenkomt met een karretje van de lineaire geleider.



Figuur 19: Maakdeel verbinding rek met lineaire geleider (Zij- en bovenaanzicht)

De materialen zijn geselecteerd m.b.v. de materialenlijst die bij IPTE gebruikt wordt voor maakdelen. Het materiaal voor de balk, tandriemklem en de verbinding met de geleider (zie Tabel 8) is een aluminium dat goed te frezen en draaien is.

Voor de tandlat en L-profiel zijn roestvaste stalen gebruikt omdat deze onderdelen beide de extra sterkte kunnen gebruiken die staal voorziet t.o.v. aluminium.

Tabel 8: Materialen rek

Onderdeel rek:	Materiaal:
Balk	AlSi1MgMn (Aluminium)
Tandlat	X5CrNi18-10 (Corrosie- en warmtebestand staal)
L-profielen	X6Cr17 (Corrosie- en warmtebestand staal)
Tandriemklem	AlSi1MgMn (Aluminium)
Maakdelen verbinding geleider	AlSi1MgMn (Aluminium)

4.2.2 Tandriem

Om het rek aan te drijven wordt een tandriem gebruikt. De tandriem is bepaald door de kracht te berekenen die op de riem uitgeoefend wordt. Hiervoor is onderstaande formule (1) gebruikt die rekening houdt met het gewicht van een volgeladen rek (F_A) en kracht door versnelling van het rek (F_H). De versnelling is geschat maar in realiteit is deze klein. Verder is er ook een veiligheidsfactor van 2 gebruikt (S).

$$F_U = (F_A + F_H) * S = (m * a + m * g) * S \quad (1)$$

$$\Rightarrow F_U = \left(50 \text{ kg} * 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 50 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) * 2$$

$$\Rightarrow F_U = 540.5 * 2 \text{ N} = 1081 \text{ N}$$

Hierna is het tabellenboek van Roloff/ Matek geraadpleegd. Hier is gekozen voor het T10 riemprofiel met breedte 16 mm die een toelaatbare omtrekskracht van 1200 N heeft. (zie Tabel 9)

Tabel 9: Tabel selecteren tandriem d.m.v. maximale omtrekskracht [15, p. 182]

riem-profiel	toelaatbare omtrekskracht \bar{F}_t in N bij de riembreedte b in mm									
	4	6	10	16	25	32	50	75	100	150
T 2,5	39	65	117	195	312	403	–	–	–	–
T 5	–	150	300	510	870	1110	1800	2730	3660	–
T 10	–	–	–	1200	2000	2700	4300	6600	8800	13400
T 20	–	–	–	–	–	4750	7750	12000	16000	24500

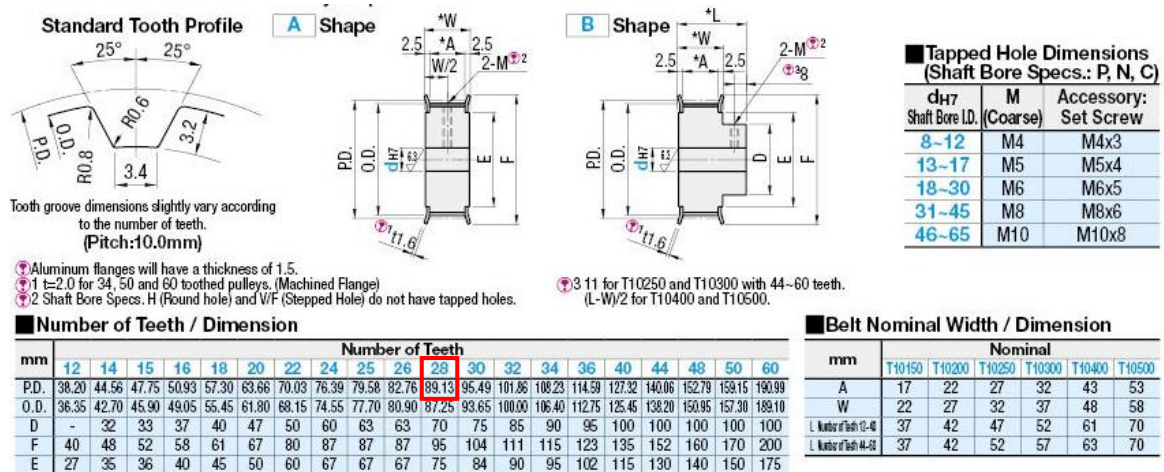
4.2.3 Aandrijving rek

Doordat de huidige machine ook tandriemen gebruikt, kan de huidige situatie aangepast worden voor de nieuwe toepassing. Voordien was er een reductie voorzien op de motor. Deze wordt vervangen door een enkel riemwiel, maar deze is zo gedimensioneerd dat dezelfde snelheid verkregen wordt als voordien zonder de reductie. De uitgaande snelheid v_2 moet constant zijn en in functie van de omtreksnelheid van de motor gezet worden (ω_1). Dit betekent dat enkel de straal van het wiel veranderlijk is. De straal van het wiel dat de overbrenging kan vervangen (r') bedraagt 47,39 mm of een diameter van 94,79 mm.

$$v_2 = \omega_2 * r_2 = \frac{\omega_1}{i} * r_2 \quad (2)$$

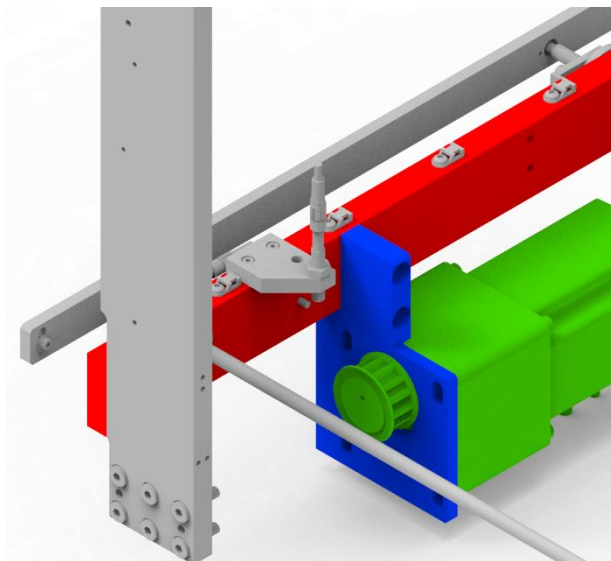
$$\Rightarrow r' = \frac{r_2}{i} = \frac{60/2}{0,633} = 47,39 \text{ mm}$$

Ten slotte is er uit de catalogus van Misumi een T10 wiel met breedte 16mm gekozen waarbij de diameter zo dicht mogelijk bij de berekende diameter ligt. (zie Figuur 20)



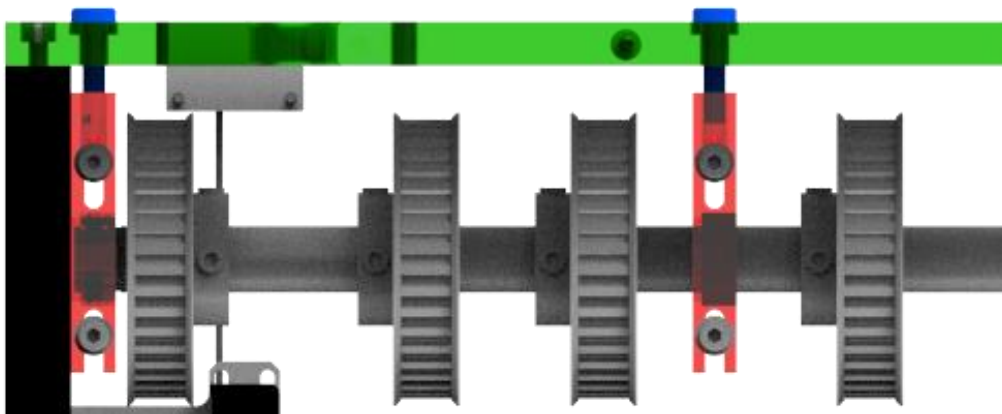
Figuur 20: Catalogus tandriemwielen Misumi [16]

Voordien was de motor gemonteerd op de frontplaat maar deze wordt weggelaten om het rek te laten passen. De motor wordt nu gemonteerd aan een profiel van het kader (zie Figuur 21, rood). Hierdoor wordt de connectieplaat (blauw) die voordien gebruikt werd om de motor te verbinden met de frontplaat aangepast om nu op het kader te monteren.



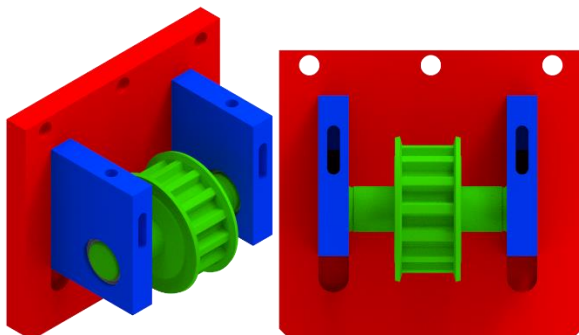
Figuur 21: Bevestiging motor

Het huidige spansysteem (zie Figuur 22, rood) van de bovenste as wordt opnieuw gebruikt. Dit is beweegbaar om de tandriem op te spannen. Dit wordt gedaan doormiddel van een bout (blauw) die de positie van de as bepaalt t.o.v. het bovenste frame van de installatie (groen).



Figuur 22: Opspanstelsel oude installatie waarvan spanner en frame doorzichtig gemaakt zijn om de bout weer te geven.

Aan de bovenzijde van het kader is in de huidige machine een as voorzien die over de hele lengte doorloopt. Hierop zijn de wielen voor de tandriemen bevestigd. De as is ingekort omdat er nu enkel één wiel op gemonteerd wordt om het rek aan te drijven (zie Figuur 23, geel). Voordien steunde het spansysteem (blauw) tegen de frontplaat dewelke weggelaten wordt. Daarom is er een kleinere plaat gemaakt (rood) die deze functie kan overnemen.



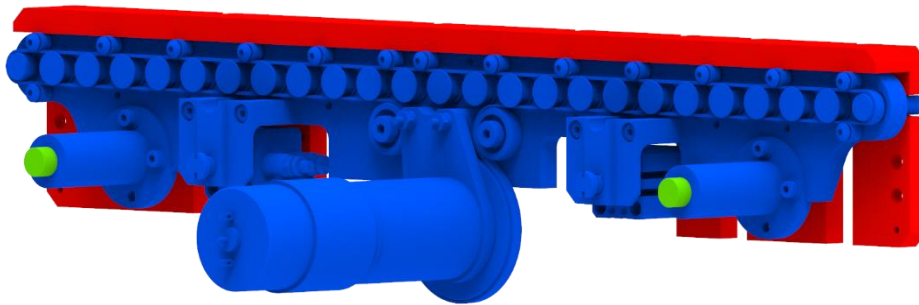
Figuur 23: Volgende as bovenaan in installatie met spansysteem (isometrisch- en achteraanzicht)

4.2.4 Connectie sensoren en andere onderdelen

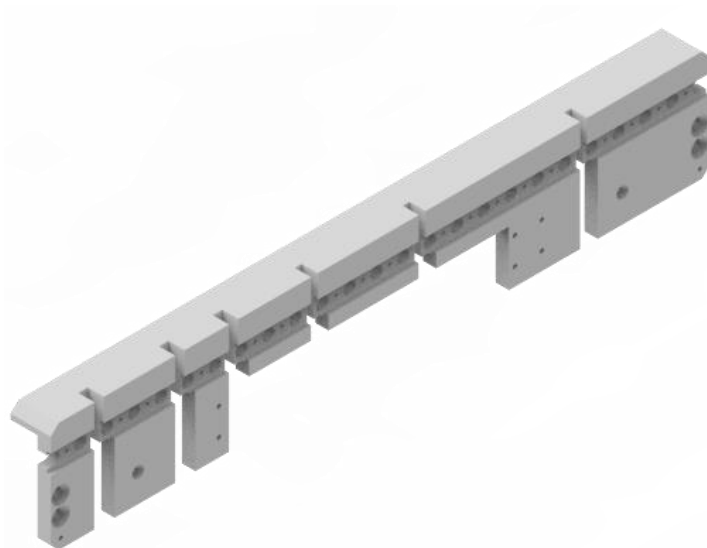
Deze onderdelen kunnen bij de huidige installatie aan de frontplaat gemonteerd worden. Om de connectie van deze delen mogelijk te maken bij dit alternatief, worden platen en profielen gebruikt om dit op het frame van de installatie te monteren.

Verder vallen de meeste sensoren weg omdat nu een rek gebruikt wordt i.p.v. de getande banden. Deze sensoren moesten kijken of de riem niet te ver naar boven of onder beweegt om te voorkomen dat printplaten uit de buffer vallen. Door het rek te gebruiken, kunnen de printplaten niet meer uit de buffer vallen.

Ten slotte wordt de frontplaat van de huidige machine ook gebruikt om de geleiding (zie Figuur 25, groen) op te monteren waardoor de rollers die de printplaten door de machine vervoeren (blauw) in en uit kunnen bewegen. De frontplaat moet weg omdat deze in de weg zit van het rek wat er bij dit alternatief toegevoegd wordt. Ter vervanging van deze frontplaat is een L-profiel gekozen met verticale sleuven waardoor de tandlatten van het rek kunnen bewegen. (zie Figuur 24, rood en 25)



Figuur 24: Rollers (blauw) met geleiding (groen) gemonteerd op het maakdeel ter vervanging van de frontplaat



Figuur 25: Maakdeel vervanging frontplaat

5 Uiteindelijke kost alternatief

Er zijn verschillen tussen de kostencalculatie die initieel gemaakt is met de kosten van het uiteindelijke ontwerp. Hieronder wordt de uiteindelijke kost van het alternatief weergegeven:

Tabel 10: Uiteindelijke kostprijs alternatief

Rek			
Onderdeel:	Aantal:	Kost: [€]	Totaalkost: [€]
Balk	4	28,75 (bij aankoop 20 stuks)	115
Tandlat	12	6,05 (bij aankoop 60 stuks)	72,6
L-profiel	24	1,83 (bij aankoop 125 stuks)	44
L-profiel tandriemklem	4	18,78 (bij aankoop 20 stuks)	75,12
Koopdeel tandriemklem	4	10	40
Verbinding rek met lineaire geleider	8	30,64 (bij aankoop 20 stuks)	245,12
Aandrijving			
Tandriem	2,8m	-	64,2
Tandriemwiel	4	30	120
Lineaire geleiding	4	90	360
Plaat spansysteem band ter vervanging frontplaat	2	16,55 (bij aankoop 20 stuks)	33,1
As	2	10	20
Vervanging frontplaat			
Maakdeel houder rollers	2	53,56 (bij aankoop 20 stuks)	106,52
Plaatmateriaal connectie onderdelen	7	2,66 (bij aankoop 35 stuks)	18,62
Som			1314,28

Als de bespaarde kost berekend wordt a.d.h.v. de kost van het alternatief uit tabel 10, bedraagt deze € 3001,16. Dit is een besparing van 20,87 % t.o.v. de huidige installatie.

6 Besluit

Technisch gezien zou de FIFO-machine met dit alternatief ook softwarematig als een LIFO-machine ingesteld kunnen worden. Dit kon niet bij het gebruik van de huidige installatie. Deze aanpassing aan de FIFO-machine kan de LIFO-machine echter niet vervangen omdat de FIFO-machine ongeveer twee keer zoveel kost als de LIFO-machine.

Ook al is het niet mogelijk om de LIFO-machine aan te passen, kan het interessant zijn om dit alternatief in te bouwen in de FIFO-machine. Dit geeft een vermindering in kostprijs van € 3001,16 bij de FIFO-machine.

7 Bronnenlijst

- [1] IPTE Factory Automation, „About IPTE,” IPTE Factory Automation, [Online]. Available: <https://www.ipte.com/about-ipte/>. [Geopend 01 09 2018].
- [2] IPTE Factory Automation, „Single Buffer Unit (SBU),” [Online]. Available: <https://www.ipte.com/systems/conveying/buffers/sbu-lifo-buffer-unit/>. [Geopend 01 09 2018].
- [3] IPTE Factory Automation, „FIFO Buffer Unit (FBU),” [Online]. Available: <https://www.ipte.com/systems/conveying/buffers/fbu-fifo-buffer-unit/>. [Geopend 01 09 2018].
- [4] F.J.Stiers, Methodisch ontwerpen, Groningen: Noordhoff, 2004.
- [5] Asys group, Puffer system: FPS 30 [Brochure], 2000.
- [6] Asys group, PS10 Small capacity vertical processing buffer [Brochure].
- [7] FlexLink, PCB Handling Solution - Overview [Brochure].
- [8] Nutek, FIFO Buffer NTM640, NTM640SL, NTM640SXL [Brochure].
- [9] Cardinal Circuit Inc, „Simplimatic FIFO Magazine Buffer,” Cardinal Circuit Inc, [Online]. Available: <http://cardinalcircuit.com/simplimatic-fifo-magazine-buffer-ref709/>. [Geopend 11 10 2018].
- [10] Tsubaki, „Tsubaki catalogus,” [Online]. Available: https://tsubaki.eu/assets/CAT_1_herdruk_compleet.pdf. [Geopend 10 9 2018].
- [11] Misumi, „Mismumi timing belt with attachments,” [Online]. Available: <https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/110300555470/?KWSearch=belt%20with%20attachments&searchFlow=results2products>. [Geopend 20 9 2018].
- [12] LM Systems, „Glijspindels van Eichenberger,” [Online]. Available: <https://www.lmsystems.nl/portfolio/glijspindels/>. [Geopend 20 9 2019].
- [13] Engineers online, „Tandriemas,” [Online]. Available: <https://www.engineersonline.nl/producten/aandrijftechniek/mechanische-aandrijvingen/id22946-tandriemas-.html>. [Geopend 20 9 2019].
- [14] Indiamart, „Timing belt pulleys,” [Online]. Available: <https://www.indiamart.com/proddetail/timing-belt-pulleys-14936438955.html>. [Geopend 20 9 2019].
- [15] M. e. a. Wittel, Roloff/ Matek machineonderdelen: Tabellenboek, Amsterdam: Boom, 2016.

[16] Misumi, „Timing pulleys T10 Type,” Misumi, [Online]. Available: <https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/110300406910/?CategorySpec=00000432717%3a%3aa%0900000005784%3a%3aj%0900000005789%3a%3amig00000002007060>. [Geopend 10 02 2019].