



Automatisering van de assemblagelijn

Tim Veldhuis

Bacheloropdracht
Technische Bedrijfskunde
Universiteit Twente

Remeha BV

7 september 2016

Automatisering van de assemblagelijijn

Bacheloropdracht Technische bedrijfskunde

Auteur

Tim Veldhuis
S1465147

Opleiding

Technische Bedrijfskunde
Faculteit Behavioural, Management and Social Sciences
Universiteit Twente

Opdrachtgever

Remeha B.V.
Marchantstraat 55
7332 AZ Apeldoorn

Informatie

Datum publicatie	12 september 2016
Aantal pagina's (excl. bijlagen)	75

Datum colloquium

Eerste begeleider Universiteit Twente
Tweede begeleider Universiteit Twente
Eerste begeleider Remeha
Tweede begeleider Remeha

Dr. H. Heerkens
Dr. Ir. L.L.M. van der Wegen
Raymond Kerkvliet
Gert-Jan Versteeg

Openbare versie

De openbare versie van de bacheloropdracht verschilt enigszins van de originele versie. In deze openbare versie van de bachelor scriptie zijn vertrouwelijke bijlagen en het voorwoord weggelaten.

Samenvatting

In dit verslag is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden tot automatisering/robotisering bij Remeha, producent van centrale verwarmingsproducten. Remeha ervaart momenteel een hevige concurrentie die de winstgevendheid negatief beïnvloedt. Daarnaast is het in het kader van de duurzame inzetbaarheid van medewerkers noodzakelijk dat de werkomstandigheden van de medewerkers optimaal zijn. Ook wordt er bij Remeha altijd gestreefd naar een optimale kwaliteit van de geleverde producten, dit kan worden bereikt door het elimineren van fouten die worden gemaakt door de werknemers tijdens de assemblage van CV-ketels. Deze probleemstelling luidt, na het maken van een probleemkluwen, tot het volgende kernprobleem:

“Er is te weinig sprake van automatisering bij de Tzerra assemblagelijijn, waardoor er teveel fouten gemaakt worden, teveel werknemers zijn en de handelingen te zwaar zijn.”

Om dit probleem op te kunnen lossen zijn literatuuronderzoek en observatie verricht. Om te beginnen is de huidige situatie in kaart gebracht. Dit is gedaan door de assemblagelijijn eerst in te delen in verschillende werkplekken, om te kunnen bepalen welke werkplek het meest zal profiteren van meer automatisering. Vervolgens zijn alle werkplekken beoordeeld op de gebieden fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit. De fysieke belasting is bepaald door gebruik te maken van de checklist fysieke belasting van TNO, de kostenbesparing door een inschatting te maken van de kosten en de kwaliteit door een analyse van de gemaakte fouten door medewerkers.

Nadat de huidige situatie in kaart is gebracht, is met behulp van een multicriteria analyse bepaald welke werkplekken het meest zullen profiteren van automatisering. De werkplekken die hieruit volgen zijn:

- Stapelen: het plaatsen van het eindproduct op de pallet en vervolgens het wikkelen van de pallet met transportfolie.
- GA/FLM: het controleren en het afstellen van het gasblok, de ventilator en de electronica.
- Frame: het plaatsen en assembleren van de eerste componenten op de assemblagelijijn.

Voor elk van deze werkplekken zijn vervolgens diverse alternatieve oplossingen verzameld en onderzocht. Elke oplossing is beoordeeld op fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit. Voor de werkplek stapelen zijn vijf oplossingen onderzocht:

- Automatisering wikkelen Tzerra
- Automatiseren palletiseren en wikkelen Tzerra
- Centraal wikkelstation
- Centraal palletiseer- en wikkelstation
- Twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation

De oplossing die de kortste terugverdientijd heeft en de knelpunten bij de fysieke belasting en fouten oplost is de oplossing met twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation.

Bij de werkplek frame zijn twee oplossingen onderzocht:

- Herontworpen productdrager
- Totaal robotiseren werkplek

Het totaal robotiseren bleek uit het onderzoek de beste oplossing. De terugverdientijd is kort, de fysieke belasting wordt minder en de kwaliteit neemt toe.

Bij de werkplek GA/FLM zijn twee oplossingen onderzocht:

- Automatisch afstellen
- Totaal robotiseren werkplek en automatisch afstellen

Uit het onderzoek blijkt dat totaal robotiseren, gecombineerd met het automatisch afstellen de beste optie is. Voordat deze oplossing geïmplementeerd kan worden, moet eerst onderzoek gedaan worden of het automatisch afstellen mogelijk is.

1. Inhoudsopgave

Voorwoord.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
Samenvatting.....	4
Begrippenlijst.....	8
1. Inleiding	9
1.1. Achtergrond.....	9
1.2. Aanleiding.....	10
1.3. Plan van aanpak	10
1.4. Probleemidentificatie	11
1.5. Kernprobleem	12
1.6. Probleemaanpak	12
1.7. Stakeholders	13
1.8. Afbakeningen.....	14
2. Theoretisch kader	15
2.1. Inleiding.....	15
2.2. Fysieke belasting.....	15
2.3. Level of Automation	17
2.4. Kwaliteit	18
2.5. Design for assembly.....	19
2.6. Configuraties van industriële robots.....	20
2.7. Lean management.....	22
2.8. Samenvatting	22
3. Welk deel van de assemblagelij zal bekeken worden?	24
3.1. Indelen assemblagelij in werkplekken.....	24
3.2. Beoordelen werkplekken op automatiseringsmogelijkheden	26
3.3. Verschil tussen huidige niveau en maximale niveau van automatisering	27
3.4. Fysieke belasting.....	29
3.5. Kostenbesparing	30
3.6. Kwaliteit	33
3.7. Multi-criteria analyse uitvoeren	35
3.8. Conclusie.....	36
3.9. Beoordelen alternatieven	37
4. Automatisering van de werkplek stapelen	38
4.1. Huidige situatie.....	38
4.2. Inventarisatie mogelijkheden	41
4.3. Oplossing 1: automatisering van het wikkelen bij Tzerra	42
4.4. Oplossing 2: automatisering palletiseren en wikkelen bij de Tzerra	44
4.5. Oplossing 3: centraal wikkelstation	46
4.6. Oplossing 4: centraal palletiseer en wikkelstation.....	49
4.7. Oplossing 5: twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation.....	53
4.8. Samenvatting stapelen	55
5. Automatisering van de werkplek frame	56

5.1.	<i>Huidige situatie</i>	56
5.2.	<i>Inventarisatie mogelijkheden</i>	57
5.3.	<i>Oplossing 1: Herontworpen productdrager</i>	58
5.4.	<i>Oplossing 2: Totaal robotiseren werkplek</i>	60
5.5.	<i>Samenvatting frame</i>	61
6.	Automatisering van de werkplek Gas-Air/FLM	62
6.1.	<i>Huidige situatie</i>	62
6.2.	<i>Inventarisatie mogelijkheden</i>	63
6.3.	<i>Oplossing 1: Automatiseren afstellen</i>	64
6.4.	<i>Oplossing 2: Robotiseren FLM en GA</i>	65
6.5.	<i>Samenvatting FLM/GA</i>	68
7.	Conclusie en discussie	69
8.	Aanbevelingen	71
	Bibliografie	73

Begrippenlijst

Begrip	Definitie/verklaring
Automated guided vehicle	Mobiele robot die gebruikt wordt voor verplaatsing van materialen die navigeert met behulp van digitale systemen of aanduidingen in de vloer.
Buffer	De container met accessoires die bij de ketel in de doos gaat.
Dalmec tilhulp	Een tilhulp van het merk Dalmec. Een tilhulp zorgt ervoor dat zware onderdelen gewichtloos verplaatst kunnen worden.
Fluegas Leakage Measurement	Rookgas lekkage meting.
Fulltime-equivalent	De rekeneenheid waarmee het aantal uren in verhouding met een fulltime baan kunnen worden aangegeven.
Gas-air unit	De samenstelling van een gasblok, ventilator en electronica die de gas-lucht verhouding regelt voor optimale verbranding van gas.
Multicriteria-analyse	Een multicriteria-analyse is een hulpmiddel om besluitvormingsprocessen te structureren en om besluitmakers te helpen bij het vinden van een optimale balans tussen conflicterende doelen. (Beinat, 1997)
Pick to Light	Pick to Light zorgt ervoor dat bij het te pakken component een lampje gaat branden. Dit betekent dat de werknemer geen stuklijst (BOM) meer in de hand hoeft te nemen en dat de medewerker geen componenten kan vergeten.
SU-label	Storage Unit label. Dient voor identificatie van de pallet.
Tote	De tote is de container die de hoofdonderdelen van de CV-ketel bevat.
Vision-scan	De ketel wordt middels een camera beoordeeld op montagefouten.
Warmtewisselaar	Een warmtewisselaar is een aluminium gietstuk dat warmte van het ene medium overbrengt naar het andere.
Werkplek	Een plek waarbij handelingen worden uitgevoerd die in dezelfde categorie passen.

1. Inleiding

1.1. Achtergrond

Dit onderzoek is geschreven in opdracht van Remeha en in het kader van de opleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Remeha is een Nederlandse producent van centrale verwarmingsproducten. Het bedrijf produceert deze producten in Apeldoorn. Remeha heeft ruim 500 werknemers en een jaaromzet van circa 300 miljoen euro. Remeha valt daarnaast onder de BDR Thermea Group, deze groep is in 2009 ontstaan door een fusie van de twee bedrijven Baxi en De Dietrich Remeha.

Remeha is leverancier van onder andere:

- CV ketels
- Warmwater boilers
- Thermostaten
- Plintverwarming
- Zonlichtsystemen
- Hybridesystemen

Dit onderzoek zal gaan over de assemblage van de CV-ketel. Bij de assemblage worden de verschillende componenten van de CV-ketel gemonteerd. Na de montage van de componenten wordt de CV-ketel getest op correcte werking, waarna de CV-ketel wordt verpakt.

Bij Remeha in Apeldoorn worden momenteel zes verschillende soorten ketels geproduceerd. Deze ketels beschikken alle zes over een aparte assemblagelijijn. Met uitzondering van de Quinta Ace/Gas220 Ace en de Gas310 worden de overige ketels geassembleerd op aangedreven productielijnen.

- Quinta Ace / Gas220 Ace - introductiejaar 2016 (wandketel / staande ketel)
- Tzerra - introductiejaar 2011, 2011 bij Remeha Apeldoorn
- Calenta - introductiejaar 2009, 2009 bij Remeha Apeldoorn
- Avanta - introductiejaar 2004, 2007 bij Remeha Apeldoorn
- Gas310 - introductiejaar 2003, 2009 bij Remeha Apeldoorn (staande ketel)
- Quinta - introductiejaar 2001, 2008 bij Remeha Apeldoorn

1.2. Aanleiding

Remeha is een van de grootste Nederlandse producenten van centrale verwarmingsproducten. Toch is Remeha niet de enige fabrikant in Europa en dit zorgt voor een hevige concurrentie en erosie van de winstgevendheid. Deze concurrentie heeft tot gevolg dat er innovatie plaatsvindt. (Canton, 2002) Deze innovatie komt in meerdere vormen. Tegenwoordig wordt er steeds meer gebruik gemaakt van automatisering in de productieomgeving, zo ook zullen de concurrenten hiervan gebruik gaan maken. Daarom denkt Remeha dat het nodig is dat ook zij hier in grotere mate gebruik van moeten gaan maken. Verder moet deze automatisering er natuurlijk voor zorgen dat Remeha concurrerende prijzen kan blijven aanbieden aan haar klanten en daarnaast kan zorgen voor een acceptabele winstmarge.

Dit is niet het enige probleem waar Remeha tegenaan loopt. In het kader van duurzame inzetbaarheid van medewerkers, waarbij medewerkers langer door moeten werken tot hun pensioen, is het noodzakelijk dat de werkomstandigheden van de werknemers optimaal zijn. Het verminderen van de fysieke belasting van medewerkers speelt hierin een belangrijke rol. Sommige productiemedewerkers ervaren momenteel een grote mate van repetitiviteit in de werkzaamheden en daarnaast een hoge fysieke belasting door het hoge gewicht van sommige componenten. Daarom zijn productiemedewerkers er bij gebaat dat automatiseringsoplossingen ervoor zorgen dat de fysieke belasting verlicht wordt. Naar aanleiding van deze problemen wordt bij Remeha een onderzoek uitgevoerd om deze problemen te kunnen oplossen.

1.3. Plan van aanpak

Bij het uitvoeren van deze opdracht zal gebruik worden gemaakt van de Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak (Heerkens, 2012). Dit is een methodologische aanpak waarin modellen aan een raamwerk worden gehangen om zo tot een afgewogen oplossing te kunnen komen:

1. *Probleemidentificatie*

In fase 1 worden de problemen geïnventariseerd en wordt er een globale probleemstelling vastgesteld. Daarnaast wordt er een probleemkluwen (een web waarin alle problemen zijn weergegeven) gemaakt.

2. *Formulering van probleemaanpak*

In fase 2 wordt er een plan van aanpak opgesteld en wordt het oplossingsproces gepland.

3. *Probleemanalyse*

Hier wordt het probleem geanalyseerd, middels probleemkluwen en probleemidentificatie worden de oorzaken gezocht. In deze fase wordt een definitie en analyse vastgesteld.

4. *Formulering van alternatieve oplossingen*

Het beslissingsproces wordt vastgesteld, er worden criteria opgesteld en voorzien van een schaal. Daarnaast worden alternatieven bedacht of opgezocht en beoordeeld.

5. *Beslissing*

Eén of meerdere oplossing(en) wordt/worden gekozen.

6. *Implementatie (ligt buiten de scope van het onderzoek)*

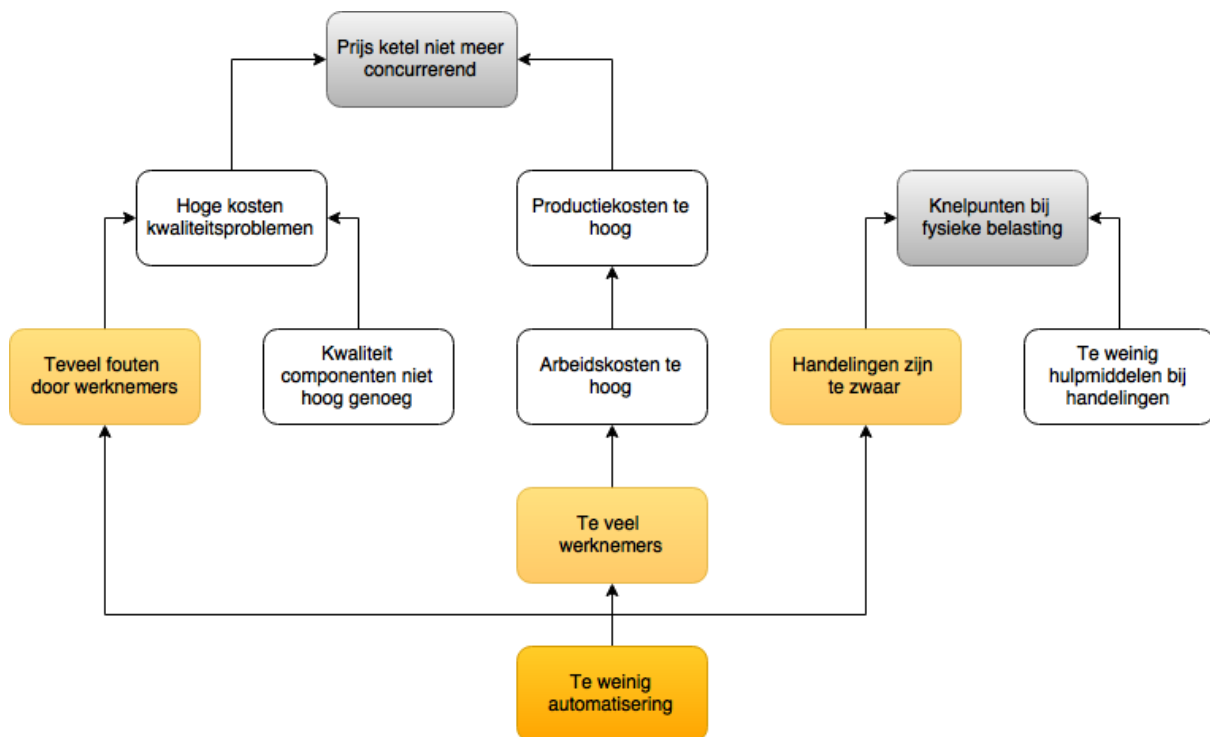
7. *Evaluatie (ligt eveneens buiten de scope van het onderzoek)*

1.4. Probleemidentificatie

Vanuit Remeha is er een probleem voorgesteld. Om erachter te komen of dit echt het probleem is waar Remeha mee te maken heeft is er een probleemkluwen opgesteld. Een probleemkluwen is een web van problemen waarin de relatie tussen de problemen is aangegeven. De probleemkluwen zal uiteindelijk leiden tot een kernprobleem. (Heerkens, 2012)

Het probleem vanuit Remeha is als volgt geformuleerd:

De Manager Production Support zoekt naar mogelijkheden tot verdere automatisering in de assemblage, maar heeft onvoldoende inzicht in de technische automatiseringsmogelijkheden van vandaag. Het onderzoek moet leiden tot een serie van concrete aanbevelingen op het gebied van drie resultaatgebieden (namelijk: borging van kwaliteit, verlichten fysieke werkzaamheden en kostprijsreductie) en cost-benefit analyse.



Figuur 1: probleemkluwen

De prijs van de ketel is niet meer concurrerend

Het probleem dat de prijs van de ketel niet meer concurrerend is heeft twee belangrijke oorzaken. Dit komt ten eerste door de relatief hoge kosten die voortvloeien uit kwaliteitsproblemen. Het gros van deze kwaliteitsproblemen wordt echter veroorzaakt door fouten in de componenten (design en leveranciersfouten). Een kleiner deel van deze kwaliteitskosten wordt veroorzaakt door fouten van de werknemers. Aangezien het probleem van de kwaliteit van de componenten een probleem is dat niet door mij kan worden opgelost, zal het probleem dat er teveel fouten worden gemaakt door werknemers worden aangepakt.

De tweede oorzaak van de hoge prijs van de ketel zijn te hoge productiekosten. Deze worden veroorzaakt door te hoge arbeidskosten per ketel, wat betekent dat er te veel tijd benodigd is voor het produceren van een ketel in combinatie met de relatief hoge arbeidskosten per uur van een

medewerker. Deze arbeidskosten per uur zijn een gegeven en hier zal ik niet verder op in gaan. Dit betekent dus in feite dat er te veel medewerkers nodig zijn om een ketel te assembleren.

Knelpunten bij fysieke belasting

De handelingen die moeten worden verricht door de werknemers worden te zwaar voor een deel van de ouder wordende werknemers. Dit komt doordat de werknemers zelf veel zware handelingen uit moeten voeren. Daarnaast zijn er te weinig hulpmiddelen bij de handelingen.

1.5. Kernprobleem

Hieruit volgt dat het volgende kernprobleem gekozen is:

“Er is te weinig sprake van automatisering bij de assemblagelij, waardoor er te veel fouten gemaakt worden, te veel werknemers zijn en de handelingen te zwaar zijn.”

Dit kernprobleem is gekozen omdat dit probleem zelf geen oorzaak meer heeft. Daarnaast kan dit probleem beïnvloed worden en is dit het probleem dat het meeste invloed heeft op het uitgangspunt.

In een handelingsprobleem is sprake van een discrepantie tussen de norm en de werkelijkheid (Heerkens, 2012). De norm is dat er veel sprake is van automatisering, wat ervoor zorgt dat er kosten worden bespaard en dat de fysieke werkzaamheden lichter worden. Hierbij is de menselijke arbeid zoveel gereduceerd als mogelijk. De werkelijkheid is dat er weinig sprake is van automatisering, wat ervoor zorgt dat de kosten hoog zijn en de fysieke werkzaamheden zwaar. In de huidige situatie komt nog veel menselijke arbeid voor. In dit kernprobleem is de variabele de hoeveelheid automatisering.

Werkdefinities

In het kernprobleem zitten daarnaast de termen automatisering, assemblagelij en fysieke belasting. Om het kernprobleem duidelijk te maken moeten deze werkdefinities correct gedefinieerd worden.

Automatisering is het volledig of gedeeltelijk vervangen van een functie die voorheen uitgevoerd werd door een menselijke operator. (Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000)

Onder het begrip *assemblagelij* valt alles waarbij de ketels geassembleerd worden. Dit begint bij het plaatsen en testen van de eerste componenten. Na de montage van de componenten wordt de CV-ketel getest op correcte werking, waarna de CV-ketel wordt verpakt.

Fysieke belasting is de lichamelijke inspanning die plaatsvindt bij de werkzaamheden aan de assemblagelij. (TNO, 2012)

1.6. Probleemaanpak

Om antwoord te kunnen geven op het kernprobleem (handelingsprobleem) bestaan er kennisproblemen. Om vast te stellen waar Remeha het best zou kunnen automatiseren moet er eerst vastgesteld worden wat de huidige stand van zaken is. Er moet namelijk sprake zijn van een norm en een realiteit.

Om het onderzoek te kunnen onderbouwen is het onderzoeksverslag als volgt ingedeeld. Als eerste is er in hoofdstuk 1 beschreven wat de aanleiding en noodzaak van het onderzoek is. Vervolgens is in hoofdstuk 1 het kernprobleem geïdentificeerd en zijn de afbakeningen beschreven.

In hoofdstuk 3 wordt er gekeken naar de indeling van de assemblagelijijn. Omdat het niet mogelijk is de gehele assemblagelijijn in één keer aan te pakken wegens de restricties op de te besteden tijd, wordt de assemblagelijijn ingedeeld in losse delen. Elk van deze delen zal vervolgens beoordeeld worden op de resultaatgebieden: fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit. Hieruit volgen de kennisproblemen:

- Hoe kan de fysieke belasting gemeten worden?
- Hoe kan de kostenbesparing bepaald worden?
- Hoe kan de kwaliteit bepaald worden?

Antwoord op deze kennisproblemen kan gegeven worden door het uitvoeren van een literatuuronderzoek. Dit is beschreven in hoofdstuk 2, het theoretisch kader.

Nadat deze kennisproblemen zijn opgelost, kunnen de handelingsproblemen die hieraan ten grondslag liggen opgelost worden in hoofdstuk 3.

- Wat is de fysieke belasting per werkplek?
- Wat is de potentiële kostenbesparing per werkplek?
- Wat zijn momenteel de kwaliteitsproblemen per werkplek?

Vervolgens zal met behulp van een multi-criteria analyse in hoofdstuk 4 bepaald worden welke drie delen van de assemblagelijijn het best geautomatiseerd kunnen worden

Nadat de drie delen van de assemblagelijijn gekozen zijn, zullen voor elk van de delen alternatieve oplossingen gegenereerd worden. Deze oplossingen staan beschreven in hoofdstuk 5 tot en met 7. Deze oplossingen worden beoordeeld op de criteria die opgesteld zijn, namelijk reductie in fysieke belasting, kostenbesparing en de reductie in kwaliteitsproblemen. Vervolgens zal op basis van deze resultaten in hoofdstuk 8 een aanbeveling worden gedaan aan Remeha.

1.7. Stakeholders

Bij dit probleem zijn verschillende partijen betrokken. Dit is belangrijk om te weten, omdat zo bij het beantwoorden van de hoofdvraag met een oplossing rekening gehouden kan worden met alle partijen.

Een van de partijen is het management van Remeha, waaronder de Directeur Operations en de Production Support Manager. Het management van Remeha is erbij gebaat om te allen tijde de kwaliteit van het eindproduct te waarborgen in combinatie met verlaging van productiekosten. Dit om een maximale winstbijdrage te kunnen leveren aan het resultaat van Remeha met een hoge mate van klanttevredenheid en vanzelfsprekend ook met tevreden medewerkers.

Een andere partij die belang heeft bij de oplossing zijn de productiemedewerkers. Het implementeren van automatisering kan tot gevolg hebben dat veel productiemedewerkers hun baan verliezen. Ook zal de automatisering leiden tot een verlichting van de fysieke werkzaamheden.

Uit de belangen van de verschillende stakeholders blijkt al dat hier sprake kan zijn van een ethisch dilemma. Aan de ene kant de productiemedewerkers die er gebaat bij zijn hun baan te behouden en aan de andere kant het management van Remeha dat baat heeft bij het verlagen van de kosten en het tevreden houden van de medewerkers.

Het morele probleem dat hieruit voortvloeit luidt als volgt: “Wat moet ik adviseren dat zal gebeuren met de productiemedewerkers als blijkt dat het vervangen van menselijke arbeid door machines zal leiden tot een goedkoper en kwalitatief beter product?” Ik zal advies geven wat de beste optie is vanuit het perspectief van kostenbesparing, kwaliteit en fysieke belasting. Mocht dit ten koste gaan van de productiemedewerkers, dan zal dit helaas noodzakelijk zijn om het bedrijf te laten groeien en later eventueel weer nieuwe medewerkers aan te nemen.

1.8. Afbakeningen

Door de relatief korte tijd van de bacheloropdracht (10-15 weken) is het onderzoek afgebakend tot één assemblagelijijn. Dit verkleint het aantal te onderzoeken delen en is daarnaast een representatieve weergave van de andere productielijnen.

In het onderzoek zal ik mij richten op de assemblagelijijn van de Tzerra ketel. De assemblagelijijn van de Tzerra ketel is sinds medio 2012 in gebruik en is momenteel de meest moderne assemblagelijijn binnen Remeha. Er wordt in deze assemblagelijijn al gebruik gemaakt van diverse vormen van automatisering, in het bijzonder cognitieve automatisering (H2.2). Daarnaast wordt deze assemblagelijijn gebruikt als voorbeeld voor de nog te verschijnen nieuwe assemblagelijijnen. Op korte termijn zullen ook de andere assemblagelijijnen worden omgebouwd naar dit voorbeeld.

2. Theoretisch kader

2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal het theoretisch kader worden beschreven. Dit theoretisch kader vormt de wetenschappelijke basis van het onderzoek. Het doel van het theoretisch kader is om inzicht te geven in de relevante theorieën en modellen die betrekking hebben op het automatiseren van een assemblagelijijn.

De onderwerpen die besproken worden in het theoretisch kader zullen antwoord geven op de deelvragen uit hoofdstuk 1.5. Als eerste zal in 2.1 de fysieke belasting behandeld worden. Wat wordt er bedoeld met fysieke belasting en hoe kan dit beoordeeld worden? Vervolgens zal in hoofdstuk 2.2 worden uitgelegd hoe het huidige niveau van automatisering kan worden vastgesteld. In hoofdstuk 2.3 zal het onderwerp kwaliteit worden besproken. Daarna zal in 2.4 Design For Assembly en Design For Automated Assembly worden behandeld. In hoofdstuk 2.5 zullen de verschillende soorten robots worden weergegeven en tot slot zal in 2.6 Lean bij Remeha besproken worden.

2.2. Fysieke belasting

Bij het beantwoorden van het kennisprobleem “Wat is de fysieke belasting op de verschillende werkplekken?” moet eerst worden bepaald hoe de fysieke belasting kan worden vastgesteld.

Wat is fysieke belasting?

Fysieke belasting is de belasting van werkzaamheden aan het lichaam. Fysieke belasting zorgt voor een belemmering van een duurzame, gezonde en productieve inzet van medewerkers. Daarnaast zorgt overmatige fysieke belasting voor hoge kosten voor een bedrijf en overheid. Het risico op te hoge fysieke belasting is gering, mits de fysieke belasting niet te hoog (overbelasting) of te laag (onderbelasting) is. (TNO, 2012)

Overbelasting treedt bijvoorbeeld op bij te zwaar tillen of duwen, dagelijks gebruik van trillend handgereedschap of langdurig werken in een ongunstige werkhouding. Fysieke onderbelasting treedt bijvoorbeeld op bij een te lage belasting, zoals te lang zittend werk uitvoeren zonder regelmatig in beweging te komen. Bij overbelasting en onderbelasting zijn zowel de grootte en de tijdsduur van de belasting van belang bij het bepalen of er een mogelijk risico bestaat of niet.

Hieruit volgt dat de aspecten van fysieke belasting zijn:

- Tillen en dragen
- Duwen en trekken
- Krachtuitoefening met de handen (hand-armtaken)
- Ongunstige werkhoudingen
- Werken met trillend handgereedschap

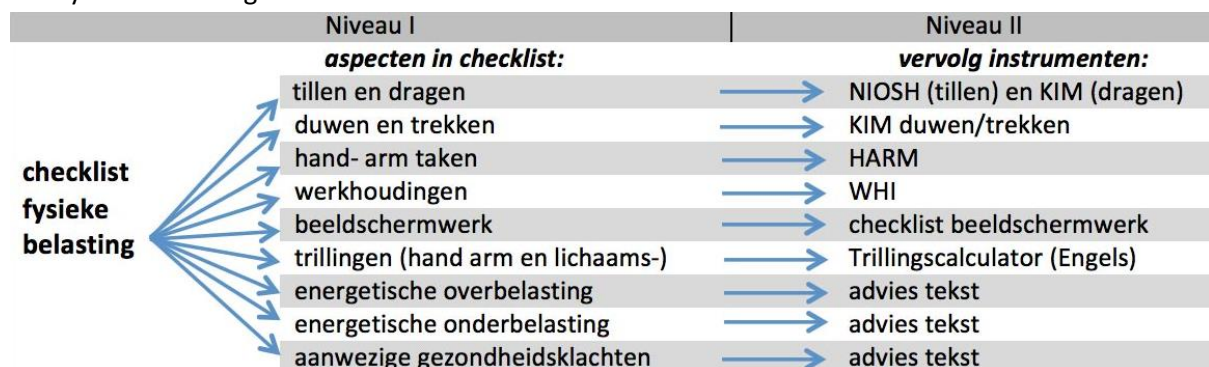
Hoe kan fysieke belasting worden vastgesteld?

De fysieke belasting zal worden vastgesteld met het instrument ‘Checklist fysieke belasting’ van TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek). TNO is een

onafhankelijk onderzoeksinstituut dat als doel heeft kennis toepasbaar te maken voor bedrijven en overheden. (TNO, sd)

In samenwerking met het Ministerie van sociale zaken en werkgelegenheid heeft TNO een aantal hulpmiddelen die arbo-verantwoordelijken kunnen gebruiken om zelfstandig de verschillende soorten van fysieke belasting te beoordelen. Deze instrumenten zijn gemakkelijk en snel toe te passen zonder specifieke voorkennis of training. (TNO, 2012)

De 'Checklist fysieke belasting' is een beoordelingsinstrument van niveau 1. Dit wil zeggen dat er met behulp van deze checklist een eerste risico-inventarisatie uitgevoerd kan worden voor alle soorten van fysieke belasting.



Figuur 2: niveau 1 en niveau 2 beoordelingen fysieke belasting

Als het niveau 1 instrument is gebruikt, is het mogelijk om deze aspecten dieper uit te lichten als de 'Checklist fysieke belasting' aangeeft dat er een mogelijk risico is.

Vervolginstrumenten

Mocht er een risico worden aangegeven bij het tillen, dan kan het instrument NIOSH gebruikt worden. De NIOSH methode (Thomas R. Waters, Vern Putz-Anderson, & Arun Garg, 1994), ontwikkeld door het Amerikaanse 'National Institute of Occupational Safety and Health', is een meetmethode om te bepalen hoeveel een werknemer per keer mag tillen. De NIOSH-methode kijkt naar het gewicht van het voorwerp en de omstandigheden waaronder het wordt verplaatst. (Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, sd).

Als er een risico wordt aangegeven bij het dragen, dan wordt de KIM methode voor het dragen uitgevoerd. De KIM (Key Indicator Method) is een methode die tot doel heeft om te komen tot een meer uniforme uitvoering van de Europese Richtlijnen rond het manueel hanteren van lasten. De KIM wordt uitgevoerd voor het beoordelen van het dragen en het duwen/trekken.

Als er een risico blijkt te zijn bij de hand-arm taken, dan kan de Hand Arm Risicobeoordelings Methode (HARM) helpen om de risico's op arm-, nek- of schouderklachten te bepalen. De HARM geeft een inzicht in de gezondheidsrisico's in het werk; stelt de belangrijkste risicofactoren vast; gaat na of de maatregelen het gewenste effect hebben. De HARM is ontwikkeld door TNO en is een gevalideerde wetenschappelijke methode.

Als er een risico blijkt te zijn met de werkhoudingen, dan kan het Werkhoudingeninstrument (WHI) worden gebruikt. Met behulp van het WHI kan worden vastgesteld of er gezondheidsrisico's zijn door werkhoudingen en vastgesteld worden wat de belangrijkste risicohoudingen zijn. De WHI is ontwikkeld door TNO, gebaseerd op kennis over risicohoudingen uit de wetenschappelijke literatuur, aangevuld met oordelen van experts uit de ergonomie. Bij het beoordelen van de alternatieve oplossingen zal met behulp van het vervolginstrument bekeken worden of de alternatieve oplossingen daadwerkelijk de aandachtspunten oplossen en verhelpen.

Concluderend kan gezegd worden dat de fysieke belasting gemeten kan worden met de Checklist fysieke belasting van TNO. Als deze checklist is uitgevoerd kunnen er vervolginstrumenten gebruikt worden om de fysieke belasting exact te bepalen.

Naast de fysieke belasting is het van belang om te weten wat de verdeling van het niveau van automatisering is. Hier zal namelijk mee gemeten worden in hoeverre het noodzakelijk is om te automatiseren. Het niveau van automatisering zal in de volgende paragraaf worden toegelicht.

2.3. Level of Automation

Bij het bepalen van het huidige en het maximale niveau van automatisering zal er gebruik worden gemaakt van de verdeling van de schaal voor het niveau van automatisering (LoA: Level of Automation) van Frohm, 2008. De schaal van Frohm is ingedeeld voor de fysieke automatisering en de cognitieve automatisering. Fysieke automatisering is de ondersteuning die een machine aan de menselijke spierkracht toevoegt of vervangt. Cognitieve automatisering is de ondersteuning die technologie biedt aan het uitvoeren van controle en het verdelen van de informatie.

Fysieke automatisering

LoA	Definitie	Uitleg
1	Geheel manueel	Geen gereedschap wordt gebruikt, enkel de spierkracht van de gebruiker.
2	Statisch handgereedschap	Handgereedschap dat niet kan worden aangepast wordt gebruikt. Bijvoorbeeld een schroevendraaier.
3	Flexibel handgereedschap	Handgereedschap dat verstelbaar is wordt gebruikt. Bijvoorbeeld een ratelsleutel.
4	Geautomatiseerd handgereedschap	Handgereedschap dat geautomatiseerd is. Bijvoorbeeld een elektrische boormachine.
5	Automatische machine	Automatisch werk dat uitgevoerd wordt door een machine die één specifieke taak kan uitvoeren. Bijvoorbeeld een draaibank.
6	Flexibele machine	Automatisch werk dat uitgevoerd wordt door een machine die voor verschillende taken ingesteld kan worden. Bijvoorbeeld een CNC machine.
7	Volautomatische machine	Totaal automatisch werk. De machine lost alle problemen of afwijkingen op die ontstaan. Bijvoorbeeld autonome systemen.

Tabel 1: fysieke automatisering

Cognitieve automatisering

LoA	Definitie	Uitleg
1	Geheel manueel	De gebruiker creëert zelf begrip van de situatie en ontwikkelt zijn eigen actie aan de hand van zijn eigen ervaring en kennis.
2	Beslissing gevend	De gebruiker krijgt informatie over wat te doen of een voorstel hoe de taak uitgevoerd kan worden. Bijvoorbeeld een werkopdracht.
3	Onderwijzend	De gebruiker krijgt instructies over hoe de taak uitgevoerd moet worden. Bijvoorbeeld checklist of handleiding.
4	Vragend	De technologie trekt de uitvoering in twijfel als de uitvoering afwijkt van wat de technologie geschikt vindt. Bijvoorbeeld verificatie voor actie.
5	Toezicht houdend	De technologie vraagt de gebruiker om aandacht en leidt de aandacht van de gebruiker naar de huidige taak. Bijvoorbeeld een alarm.
6	Tussenkommend	Als de uitvoering van een taak afwijkt van wat de technologie geschikt vindt, neemt de technologie de taak over en verbetert de actie. Bijvoorbeeld een thermostaat.
7	Totaal automatisch	Alle informatie en controle worden afgehandeld door de technologie. De gebruiker wordt nooit betrokken. Bijvoorbeeld autonome systemen.

Tabel 2: cognitieve automatisering

In hoofdstuk 3 zal er verder op in worden gegaan hoe deze normen worden vastgesteld.

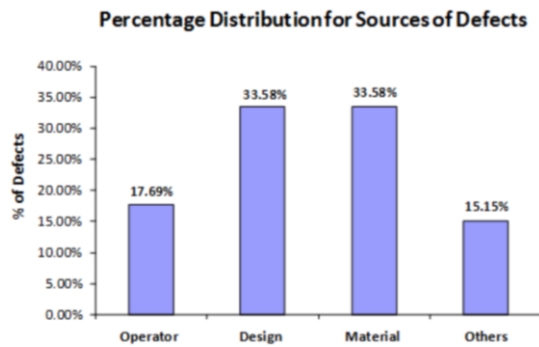
2.4. Kwaliteit

Bij het bepalen van de kwaliteit op de verschillende werkplekken moet er eerst bepaald worden hoe deze kwaliteit kan worden gemeten.

Kwaliteit kan gedefinieerd worden op verschillende manieren en is vaak gerelateerd aan de karakteristieken die een product moet bezitten. Een vaak gebruikte definitie voor kwaliteit is 'geschiktheid voor gebruik' en 'conformiteit aan de eisen' (Dhafr, Ahmad, Burgess, & Canagassababady, 2006). Binnen Remeha is de definitie voor kwaliteit: 'Het voldoen aan de verwachtingen en eisen van de klant'. Deze definities voor kwaliteit impliceren dat er geen vorm van defecten aan een product zitten. Een defect kan beschreven worden als een afwijking van de bedoelde specificatie die erg genoeg is om de veiligheid of bruikbaarheid van een product in gevaar te brengen (Escalante, 1999).

Aangezien er binnen dit onderzoek alleen gekeken zal worden naar de kwaliteit binnen de assemblagelijnen zullen alleen de defecten die ontstaan gedurende het assemblageproces bekeken worden. Defecten leiden niet alleen tot een verlaging van de kwaliteit van een product, maar ook tot lagere winstmarges, aangezien de defecte producten gerepareerd of weggegooid moeten worden.

Deze defecten worden veroorzaakt door fouten, mogelijk veroorzaakt door mensen. Uit een onderzoek naar de fouten veroorzaakt door mensen bij het assemblageproces van elektronica blijkt dat fouten gemaakt door mensen zorgen voor 17,7% (zie figuur 1) van het totaal aantal defecten (Saptari, Ng, Leau, & Mohamad, 2014). Andere defecten waren te wijden aan het ontwerp van het product, defecte componenten en overige zaken.



Figuur 1: verdeling bronnen defecten

Bij deze informatie moet echter wel een kanttekening geplaatst worden. Deze resultaten komen uit een onderzoek over het assembleren van een elektronische pager. Het assembleren hiervan is natuurlijk niet gelijk aan het assembleren van een cv-ketel. Daarom kan het aantal fouten in elke categorie verschillen. Het feit dat een deel van de fouten gemaakt worden door mensen, blijft aanwezig.

Bij het meten van de kwaliteit zal er daarom gekeken worden naar de kans dat er fouten worden gemaakt door medewerkers op een bepaalde werkplek.

2.5. Design for assembly

Bij het beantwoorden van de deelvraag “Welk deel van de assemblagelijijn is het best om te automatiseren?” kan het voorkomen dat het product niet altijd is ontworpen om het assembleren makkelijk te maken. Door de veelzijdigheid van het menselijk lichaam is dit vaak geen groot probleem, echter wanneer men op deze posities robots wil plaatsen gaat dit wel een rol spelen. Complexe vormen, bewegingen en onhandige plaatsingen zorgen ervoor dat een robot het erg lastig kan krijgen.

Door het gebruik van Design for Manufacturing (DFM) en Design for Assembly (DFA) wordt het ontwerpen van het product en het plannen van het proces één gemeenschappelijke activiteit. Het doel hiervan is een product te ontwerpen dat makkelijk en economisch verantwoord te produceren is. Dit is belangrijk, omdat 70% van de fabricagekosten door de ontwerpbeslissingen van het product bepaald worden en 20% door productiebeslissingen. (Chang, Wysk, & Hsu-Pin, 2005)

Aan DFM en DFA liggen een aantal ontwerpprincipes en richtlijnen ten grondslag die ervoor moeten zorgen dat de ontwerper de kosten en moeilijkheidsgraad van het assembleren van een product kan reduceren. In de volgende paragraaf worden deze ontwerpregels toegelicht (Chang, Wysk, & Hsu-Pin, 2005).

1. Verminder het totaal aantal onderdelen. Minder onderdelen betekent minder inkoop, voorraad, handling, procestijd, ontwikkeltijd, assemblage, testen, service etc.
2. Ontwikkel een modulair ontwerp. Het gebruik van modules zorgt ervoor dat fabricageactiviteiten, zoals het inspecteren, testen, assembleren, inkopen, herontwerpen, onderhoud etc. simpeler worden.

3. Gebruik standaardcomponenten. Standaardcomponenten zijn goedkoper dan custom-made componenten. Daarnaast zal de hoge beschikbaarheid tot gevolg hebben dat de levertijd korter is.
4. Ontwerp onderdelen zodat ze multifunctioneel zijn. Ontwerp onderdelen zo dat één onderdeel meerdere doelen heeft.
5. Ontwerp onderdelen zodat ze in meerdere producten gebruikt kunnen worden. Zorg ervoor dat alle onderdelen die in een meerdere producten voorkomen in een part family zitten. Zet daarna standaarden voor elke part family.
6. Ontwerp voor makkelijke fabricage. Zorg voor een optimale combinatie tussen materiaal en het fabricageproces om de totale fabricagekosten te minimaliseren.
7. Vermijd afzonderlijke bevestigingsmiddelen. Afzonderlijke bevestigingsmiddelen zorgen voor een toename in kosten door de extra handelingen die moeten worden uitgevoerd.
8. Minimaliseer assemblagerichtingen. Assemblage moet plaatsvinden vanaf één kant, het liefst vanaf boven. Zo helpt de zwaartekracht mee aan het assemblageproces.
9. Minimaliseer kans op verkeerd monteren. Een voorbeeld hiervan is het toevoegen van conussen, zodat het makkelijker wordt iets te monteren.
10. Minimaliseer behandeling. Minimaliseer het positioneren, oriënteren en vastmaken van een onderdeel. Gebruik symmetrische onderdelen en vermijd flexibele onderdelen.

De hierboven genoemde ontwerpregels zijn ook van toepassing op het assembleren met robots en automatische machines. Echter vereist Design for Automated Assembly (DFAA) nog een aantal extra ontwerpregels. (Chan & Salustri, 2005):

1. Het product moet vanaf de onderkant naar boven worden geassembleerd, daarnaast moet alles toegankelijk zijn vanaf één kant, de bovenkant.
2. Als de robot verschillende componenten vast moet kunnen pakken, moeten de onderdelen zo ontworpen worden dat de robot ze met dezelfde grijper moet kunnen pakken. De tijd die een robot besteed aan het wisselen van grijper is de tijd die niet besteed is aan het assembleren.
3. Zorg ervoor dat de toleranties niet te groot zijn en teveel afwijken. Een robot kan minder goed corrigeren dan een mens bij verkeerde toleranties.
4. Bij het voeden van onderdelen aan de robot moeten de onderdelen op een logische en consistente manier gepresenteerd worden aan de robot.
5. Voeg bij onderdelen met gelijke zijden herkenningspunten toe, waardoor de robot kan herkennen welke zijde zichtbaar is.

Deze ontwerpregels zullen in de toekomst moeten worden toegepast bij het ontwikkelen van nieuwe cv-ketels. Daarnaast wordt er in het onderzoek soms verwezen naar DFAA, dit betekent dat de bovenstaande ontwerpregels moeten worden toegepast.

2.6. Configuraties van industriële robots

Bij het voorstellen van mogelijkheden tot automatiseren op de vlakken waar een substantiële verbetering nodig is, is kennis nodig van de robots die er zijn. Robotiseren is niet de enige mogelijkheid tot automatisering, maar vaak wel de beste door de brede inzetbaarheid van robots. Daarom zullen in deze paragraaf de verschillende soorten robots worden geïntroduceerd. Er zijn veel

verschillende robots op de markt die allemaal een ander doel hebben. Deze industriële robots kunnen worden ingedeeld in de volgende categorieën, gebaseerd op de mechanische structuur. (Hegde, 2006)

De volgende tabel geeft de verschillende soorten robots weer met de bijhorende eigenschappen. (Zia & Cortes Mora, 2008)

Type	Vrijheids-graden	Werkruimte	Herhaalbaarheid	Accuraatheid	Payload	Snelheid	Gebruik
Cartesian/gantry robot	4	Groot	Heel goed	Goed		Snel	Pick and place work Application of sealant Assembly operations Handling machine tools Arc welding
Cylindrical robot	3	Gelimiteerd	Goed	Redelijk	Groot	Langzaam	Assembly operations Handling at machine tools Spot welding Handling at die-casting machines
Spherical/polar robot	3	Groot	Redelijk	Redelijk	Groot	Langzaam	Handling at machine tools Spot welding Die-casting Fettling machines Gas welding, arc welding
SCARA robot	4	Gelimiteerd	Goed	Goed	Groot	Snel	Pick and place work Application of sealant Assembly operations Handling machine tools
Articulated robot	6	Groot	Heel goed	Goed	Groot	Snel	Assembly operations Pick and place work Die-casting Fettling machines Gas welding, arc welding Spray painting
Parallel robot	6	Gelimiteerd	Goed	Goed		Snel	Mobile platform handling Cockpit flight simulators Robotic surgery

Tabel 3: eigenschappen robots

In dit onderzoek zal er voornamelijk gebruik worden gemaakt van het type Articulated robot. Deze robot heeft het meeste vrijheidsgraden en wordt vaak in assemblageomgevingen gebruikt.

Bin picking met robots

Bij het bepalen van de kostenbesparing moet er rekening worden gehouden met het feit dat het picken van kleine onderdelen met de huidige stand van techniek nog erg lastig is. In een artikel van Robotic Industries Association door Tanya M. Anandan (03-16) wordt toegelicht wat er momenteel mogelijk is en waarom nog niet alles mogelijk is.

Er zijn momenteel drie soorten bin picking:

- Gestructureerd: onderdelen zitten op een georganiseerde manier (patroon) in een bin.
- Semi-gestructureerd: onderdelen liggen met een mate van organisatie en voorspelbaarheid in een bin.

- Random: onderdelen liggen totaal random in een bin (overlappend, verward).

Het gestructureerde en semi-gestructureerde bin picking is momenteel mogelijk. Echter is het random bin picking lastig. Dit komt doordat tussen objecten door middel van 2D of 3D vision onderscheid moet worden gemaakt. Dit is mogelijk bij objecten die geometrisch gelijk zijn, maar niet bij onderdelen die zacht zijn of in zakjes zitten.

2.7. Lean management

Het idee achter lean is om continue te verbeteren, om verspillingen weg te nemen en daardoor effectief, efficiënt en kwaliteit-verhogend te werken. Binnen Remeha wordt er veel gebruik gemaakt van de lean filosofie. Bij het vormen van de oplossingen wordt de lean filosofie daarom in het achterhoofd gehouden. De lean filosofie komt voort uit het Toyota Production System. Volgens Toyota zijn er in het productieproces drie gevolgen die in een proces kunnen optreden, namelijk muri (overbelasting), muda (werk zonder toegevoegde waarde) en mura (variatie). (Liker, 2004)

Verspillingen (muda)

1. Overproductie: teveel produceren, meer dan de klant vraagt
2. Wachten: verspilling van tijd
3. Transport: onnodig transport
4. Extra processtappen: te hoge complexiteit
5. Voorraad: meer voorraad en tussenvoorraad dan nodig is
6. Verplaatsing: onnodige verplaatsingen van objecten
7. Defecten/correcties: het herstellen of het opnieuw uitvoeren van taken
8. Onbenutte creativiteit: de creativiteit van werknemers niet benutten

Bij het genereren van alternatieve oplossingen zullen de lean principes in het achterhoofd worden gehouden.

2.8. Samenvatting

Concluderend kan gesteld worden dat de fysieke belasting gemeten kan worden met de Checklist fysieke belasting van TNO. Als deze checklist is uitgevoerd kunnen er vervolginstrumenten gebruikt worden om de fysieke belasting exact te bepalen.

Daarnaast zal er bij het bepalen van het huidige en het maximale niveau van automatisering gebruik worden gemaakt van de verdeling van de schaal voor het niveau van automatisering (LoA: Level of Automation) van Frohm, 2008. De schaal van Frohm is ingedeeld voor de fysieke automatisering en de cognitieve automatisering van 1 tot en met 7.

Ook de kwaliteit van de verschillende werkplekken zal beoordeeld worden. De definitie voor kwaliteit is: 'conformiteit aan de eisen'. Kwaliteit impliceert dat er geen defect aan een product is. De kwaliteit binnen een assemblagelijijn kan gemeten worden door het aantal defecten die er aan een product zitten. Deze defecten zijn te wijden aan de mens, het ontwerp van het product, de componenten zelf en andere oorzaken. In dit onderzoek zal de kwaliteit gemeten worden aan de hand van hoe groot de kans op fouten, gemaakt door de mens, is.

Bij het inschatten van het maximale niveau van automatisering en het bepalen van de terugverdientijd kan het voorkomen dat niet elke werkplek van de assemblagelijns ervoor ontworpen is om geautomatiseerd te worden. Om hier wel voor te zorgen zullen in de toekomst meer ontwerpregels van Design For Assembly en Design For Automated Assembly toegepast moeten worden bij het ontwikkelen van nieuwe cv-ketels.

Er zijn vijf verschillende soorten robots die vaak voorkomen. Binnen dit onderzoek zal er veelal gebruik gemaakt worden van de Articulated robot, door de grote hoeveelheid vrijheidsgraden. Daarnaast is binnen Remeha lean manufacturing van groot belang. Bij het genereren van alternatieve oplossingen zal hier dan ook rekening mee gehouden worden.

3. Welk deel van de assemblagelijijn zal bekeken worden?

Om te bepalen welk deel van de assemblagelijijn het meest interessant is om te automatiseren zal bepaald moeten worden uit welke delen de assemblagelijijn bestaat.

3.1. Indelen assemblagelijijn in werkplekken

Remeha heeft de assemblagelijijn van de Tzerra ingedeeld in werkplekken. Deze indeling van werkplekken wordt bij Remeha gebruikt bij het bepalen van het aantal FTE dat nodig is op de werkplekken. Voor een plattegrond van de verschillende werkplekken, zie bijlage 11.

In de volgende alinea zullen de verschillende werkplekken toegelicht worden. Voor een gedetailleerde versie van alle taken die moeten worden uitgevoerd bij de verschillende werkplekken, zie de Hierarchical Task Analysis in bijlage 8.

1. *Fluegas Leakage Measurement (FLM) en Gas-Air*

Bij de FLM worden de eerste componenten van de cv-ketel getest en in de tote geplaatst. Bij de FLM wordt de lekkage van de ventilator die de lucht voor de brander aanvoert gemeten. Dit wordt gemeten om bij het gas-air station de brander juist te kunnen afstellen.

2. *Pick to Light*

Op de Pick to Light werkplek worden de resterende componenten in de tote (container met componenten die geassembleerd worden) gelegd. Dit gebeurt met een Pick to Light systeem. Hierbij gaan er lampjes branden bij de onderdelen die gepickt moeten worden. Pick to light is een voorbeeld van cognitieve automatisering (zie 2.2).

3. *Frame*

De tote wordt geplaatst in de productdrager, de documentatie wordt geprint en bij de tote geplaatst. Het frame en het eventuele expansievat wordt geplaatst in de productdrager. Verschillende kabels worden geplaatst en stickers geplakt.

4. *WaWi*

Bij WaWi wordt de warmtewisselaar geplaatst in de behuizing van de ketel.

5. *Assemblage*

Het hydroblok en het Gas-Air systeem worden gemonteerd in de behuizing van de ketel. Daarnaast worden verscheidene kleine onderdelen geplaatst en kabels aangesloten.

6. *Droge/natte test*

De droge/natte test wordt uitgevoerd bij het teststation. De droge test wordt uitgevoerd met lucht en de natte test met water en gas. Hier wordt gekeken of de ketel lekkage heeft en of hij goed is afgesteld. Door het invoeren van de droge test worden weinig ketels nog nat getest. De voordelen van het droog testen zijn dat de ketel niet meer nat wordt van binnen, er geen water/gas nodig is en de testmethode sneller is.

7. *Afbouw*

Bij deze werkplek wordt de ketel gecontroleerd met de vision-scan en met controlestippen. Hier wordt gecontroleerd of alle onderdelen juist zijn gemonteerd en of deze überhaupt aanwezig zijn. Daarnaast wordt de frontmantel van de ketel gemonteerd.

8. *Scan en inpak*

Bij de scan en inpak werkplek wordt de ketel van de productdrager gehaald en op een rollenband geplaatst. Hier wordt de ketel in de doos gedaan en de doos dichtgemaakt. Verder wordt gecontroleerd of alle onderdelen aanwezig zijn in de buffer.

9. *Stapelen*

Het eindproduct (ingepakte ketel in doos) wordt met behulp van een Dalmec tilhulp op een pallet geplaatst. Hierbij worden er 16 stuks op een pallet geplaatst bij een Nederlandse ketel en 8 bij een export-ketel. Tussen de 16 ketels wordt ook nog een antislippapier aangebracht, om te voorkomen dat de ketels van de pallet afschuiven. Vervolgens wordt de pallet met ketels naar de wikkelmachine geduwd met behulp van een handpallettruck.

3.2. Beoordelen werkplekken op automatiseringsmogelijkheden

De volgende aspecten zijn van belang bij het bepalen van het te bekijken deel van de assemblagelijijn.

Verschil tussen huidige en maximale niveau van automatisering

In paragraaf 3.3 zal bekeken worden of het überhaupt mogelijk is om handelingen te automatiseren.

Fysieke belasting

Uit de probleemstelling is gebleken dat een huidig probleem de fysieke belasting is. Op verschillende delen van de assemblagelijijn is de fysieke belasting te hoog. Een te hoge fysieke belasting kan leiden tot klachten aan het bewegingsapparaat, de spieren, pezen en gewrichten. Bij het bepalen van het te automatiseren deel is het daarom relevant dat de fysieke belasting meegenomen wordt.

Kostenbesparing

De kostenbesparing die gerealiseerd kan worden op dit deel van de assemblagelijijn. Hierbij wordt gekeken naar de terugverdientijd en de toepasbaarheid op de andere assemblagelijijnen.

Kwaliteitsproblemen

Kwaliteitsproblemen veroorzaakt door menselijke fouten die kunnen voorkomen bij de verschillende werkplekken.

Als eerste zal door middel van het verschil tussen het huidige en maximale niveau van automatisering bekeken worden welke delen van de assemblagelijijn kunnen worden geautomatiseerd. Vervolgens zal elk deel van de assemblagelijijn worden beoordeeld op de aspecten fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteitsproblemen. Dit zal gebeuren door middel van een Multi-Criteria Analyse.

3.3. Verschil tussen huidige niveau en maximale niveau van automatisering

Het verschil tussen het huidige niveau en het maximaal mogelijke niveau van automatisering geeft aan hoe groot de mogelijkheid tot automatisering is. Mocht dit verschil nul zijn, dan is er op dit moment geen automatisering mogelijk. Het doel van deze paragraaf is om de werkplekken waarbij geen automatisering mogelijk is te identificeren, zodat hier in het verdere onderzoek rekening mee gehouden kan worden.

Bij het bepalen van het huidige en het maximale niveau van automatisering zal er gebruik worden gemaakt van de verdeling van de schaal voor het niveau van automatisering (LoA: Level of Automation) van Frohm, 2008 (zie H2.2). De schaal is door Frohm ingedeeld voor de fysieke automatisering en de cognitieve automatisering. Fysieke automatisering is de automatisering van werk dat met de handen uitgevoerd moet worden. Cognitieve automatisering is de ondersteuning die technologie biedt aan het uitvoeren van controle en het verdelen van de informatie.

Per werkplek zullen de mate van fysieke automatisering en cognitieve automatisering bepaald worden. Per werkplek zijn er meerdere handelingen die zijn uiteengezet in een Hierarchical Task Analysis. Elke handeling is hierbij beoordeeld op de fysieke en cognitieve LoA. De LoA zal verkregen worden via de voorgeschreven werkprocedures, gecombineerd met observaties. De observaties zullen worden toegepast om de discrepantie tussen de werkprocedures en de werkelijke handelingen te minimaliseren. De maximale fysieke en cognitieve LoA is vastgesteld door middel van deskresearch en aan de hand van gesprekken met potentiële leveranciers van automatiseringsmogelijkheden.

Er is een onderscheid gemaakt tussen de LoA van niveau 1 t/m 4 en niveau 5 t/m 7.

Niveau 1 t/m 4 maakt bij fysieke automatisering gebruik van menselijke arbeid, waarbij de automatisering dient als hulpmiddel. Niveau 5 t/m 7 is gebaseerd op automatisering, waar menselijke arbeid dient als hulpmiddel.

Bij cognitieve automatisering maakt niveau 1 t/m 4 gebruik van het beheer en verdeling van informatie door de mens. Bij niveau 5 t/m 7 is het beheer en de verdeling van de informatie grotendeels in handen van de technologie.

Hieronder is een voorbeeld te zien van de werkplek GA/FLM (13 handelingen):

LoA	Categorie		Aantal
Fysiek	Huidig	1 t/m 4	10
		5 t/m 7	3
	Max	1 t/m 4	0
		5 t/m 7	13
	Verschil in %*		77%
Cognitief	Huidig	1 t/m 4	8
		5 t/m 7	5
	Max	1 t/m 4	0

		5 t/m 7	13
		Vershil in %	62%
Gemiddelde		Vershil fysiek en verschil cognitief	69%

Tabel 4: LoA werkplek GA/FLM

* Rekenvoorbeeld: Verschil tussen 5 t/m 7 huidig en max = $13 - 3 = 10$, verschil / totaal aantal handelingen = $10 / 13 * 100 = 77\%$.

In de volgende tabellen is het aantal handelingen dat in categorie 1 (niveau 1 t/m 4) en categorie 2 (niveau 5 t/m 7) weergegeven. In de kolom totaal is het verschil in LoA weergegeven, wat betekent: hoeveel procent van de taken kan geautomatiseerd worden?

Werkplek	Fysiek (verschil)	Cognitief (verschil)	Gemiddeld
GA/FLM	77%	62%	69%
P2L	3%	3%	3%
Frame	42%	50%	46%
Wawi	71%	14%	43%
Assembly	45%	0%	23%
DT/NT	40%	15%	28%
Afbouw	36%	36%	36%
Scan/inpak	56%	89%	72%
Stapelen	56%	67%	61%

Tabel 5: LoA per werkplek

Uit deze tabel blijkt dat er bij de werkplek Pick to Light sprake is van een verschil van 3%. Dit betekent dat hier momenteel geen automatisering mogelijk is. Bij het beoordelen van de fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit zal deze werkplek dan ook niet meer behandeld worden.

In de volgende paragrafen (3.4, 3.5 en 3.6) zullen de criteria fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit behandeld worden die in 3.7 gebruikt worden in de multi-criteria analyse.

3.4. Fysieke belasting

Het meten van de fysieke belasting zal gebeuren door middel van de 'Checklist fysieke belasting', zie 11.7. (TNO, 2012). Deze gegevens zijn verzameld door middel van observaties en metingen met behulp van een stopwatch en rolmaat.

Als voorbeeld zullen een aantal factoren van het beoordelen van het knelpunt tillen en dragen toegelicht worden:

<i>Factor</i>	<i>Hoe gemeten?</i>
Komt er gedurende de werkdag een taak voor waarbij meer dan 3 kg wordt getild en/of gedragen?	Elk onderdeel dat potentieel meer weegt dan 3kg is gewogen met behulp van een weegschaal.
Duur van de taak (waarbij tillen/dragen voorkomt) is meer dan 2 uur per dag	De duur van de totale taak en de duur van het tillen en dragen is minimaal drie keer gemeten met behulp van een stopwatch.
Tilhoogte is onder kniehoogte of boven schouderhoogte	Gemeten met behulp van rolmaat, kniehoogte vastgesteld op 50cm, schouderhoogte op 140cm.
De last wordt voor de knieën langs of ver voor het lichaam gedragen	Handelingen observeren.
Taak bevat zowel tillen als dragen (verplaatsen van een last over 2 meter)	Afstand meten met behulp van rolmaat.

Tabel 6: voorbeeld knelpunten beoordelen

Uit deze checklist blijkt het volgende:

Elke werkplek heeft knelpunten, dit betekent dat geen enkele werkplek geheel goed is vormgegeven wat betreft fysieke belasting. Wat opvalt is dat bij elke werkplek het knelpunt 'werkhoudingen' voorkomt. Dit is te wijten aan het feit dat er bij elke werkplek langer dan één uur aaneengesloten of zes uur in totaal gestaan wordt.

Een ander knelpunt dat voorkomt is het 'duwen en trekken'. Dit komt voor bij het stapelen. Hierbij wordt namelijk meer dan 6 kg geduwd met het hele lichaam bij het duwen van de handpallettruck naar de wikkelmachine.

Hand-arm taken komen voor bij de GA/FLM en de scan/inpak werkplek. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat er bij de GA/FLM en scan/inpak de gehele dag door wordt gestaan op vrijwel dezelfde plek. Deze taak duurt in uren gemiddeld 6 uur.

Tillen en dragen komt voor bij de werkplek frame en de werkplek Wawi. Er komt gedurende een werkdag een taak voor waarbij meer dan 3 kg wordt getild en/of gedragen.

Werkplek	Mogelijke knelpunten	Aantal knelpunten
GA/FLM	Hand-arm taken Werkhoudingen	2
Pick to Light	Werkhoudingen	1
Frame	Tillen en dragen Werkhoudingen	2
Wawi	Tillen en dragen Werkhoudingen	2
Assemblage	Werkhoudingen	1
Testen	Werkhoudingen	1
Vision/afbouw	Werkhoudingen	1
Scan/inpak	Hand-arm taken Werkhoudingen	2
Stapelen	Duwen en trekken Werkhoudingen	2

Tabel 7: fysieke belasting per werkplek

In totaal zijn er 9 potentiële knelpunten. Hieruit blijkt dat de werkplekken goed scoren met maximaal 2 knelpunten. Echter is het wenselijk om deze knelpunten te kunnen verhelpen.

3.5. Kostenbesparing

De kostenbesparing zal worden gemeten aan de hand van de terugverdientijd en de toepasbaarheid op de andere assemblagelijnen.

Terugverdientijd

De terugverdientijd wordt volgens de volgende formule bepaald als er sprake is van een gelijke inkomende kasstroom per periode (Brealey, Myers, & Allen, 2014):

$$\text{Terugverdientijd} = \frac{\text{Initiële investering}}{\text{Inkomende kasstroom per periode (jaar)}}$$

De inkomende kasstroom zal voornamelijk bestaan uit het aantal fte dat bespaard zal worden. Uiteraard bestaan deze ook uit andere elementen, maar deze zullen pas vanaf hoofdstuk 5 worden meegenomen met de echte kosten-batenanalyses wegens de restricties op de te besteden tijd. Dit betekent dat de investeringskosten en de inkomende kasstroom een benadering zullen zijn. De schattingen van de investeringen zijn gebaseerd op offertes en prijsopgaves van diverse leveranciers. Het aantal fte dat benodigd is per werkplek komt uit interne bestanden van Remeha.

In de volgende alinea's zal per werkplek eerst een mogelijke oplossing worden voorgelegd. Vervolgens zullen de kosten hiervoor worden toegelicht en daarna de bijhorende inkomende kasstroom in bijlage B18.

FLM/GA

Bij FLM moeten de componenten (< 5kg) uit een doos worden gepakt en in een testmachine geplaatst worden. Vervolgens moet een component op een rollenbaan geplaatst worden. Daarna moet de GA unit met de hand worden afgesteld. Om dit te automatiseren kan er gebruik worden gemaakt van een robot die de GA unit en luchtdemper moet kunnen pakken. Vervolgens stelt een stappenmotor op het GA station de GA unit af. De terugverdientijd is 0,87 jaar.

Frame

Bij het frame moet de tote en de buffer verplaatst worden van de rollenbaan naar de productdragers door middel van een robot. Ook moeten de stickers en formulieren geprint en geplakt worden door middel van stickerapparaten. Daarnaast moet de behuizing op de productdrager geplaatst en vergrendeld worden door middel van een robot. Het monteren van de aardekabel en de 230V-kabel kan in een later stadium gebeuren. De terugverdientijd is 1,47 jaar.

WaWi

Bij de WaWi wordt de warmtewisselaar gemonteerd. De warmtewisselaar wordt eerst geplaatst en vervolgens vergrendeld. De kosten van de robotarm inclusief software en implementatie zijn 90.000 euro. De terugverdientijd is 1,8 jaar.

Assemblage

Bij de assemblage moet er een groot aantal verschillende handelingen uitgevoerd worden. Daarnaast zijn veel van deze handelingen complex. Monteren en aansluiten van onderdelen zijn voor robots lastig uit te voeren taken. Dit blijkt ook uit hoofdstuk 3.2, waarbij de mogelijke automatisering is vastgesteld op 20%. Veel van deze handelingen kunnen worden geëlimineerd als design for automated assembly (DFAA) wordt toegepast bij het ontwerpen van de ketel (zie H5.3). De mogelijke besparing in fte is bij de assemblage dan ook maar 1 fte. Een robot zou hierbij het plaatsen van de hydro assy en het checken hiervan kunnen uitvoeren, maar kabels aansluiten en onderdelen vastzetten is momenteel nog een stap te ver. De terugverdientijd is 1,8 jaar.

Testen

Bij het testen zijn er, net als bij de assemblage, veel handelingen die complex zijn en slecht met een robot uit te voeren zijn. Net als bij de assemblage is design for automated assembly hiervoor nodig. De terugverdientijd is 1,2 jaar.

Afbouw

De afbouw van de ketel verloopt als volgt: de frontmantel wordt gemonteerd en de vision scan wordt uitgevoerd. Het monteren van de frontmantel kan gebeuren door een kleine compacte robot. De vision scan kan automatisch verlopen. De terugverdientijd is 1,8 jaar.

Scan/inpak

De scan/inpak werkplek omvat het verplaatsen van de ketel van de lijn naar de rollenbaan, waar hij in een doos geplaatst wordt. Op dit moment heeft de ketel een aanzienlijk hoger gewicht, namelijk 19-22 kg. Een sterkere robot dan de Fanuc M-10 is dus vereist, bijvoorbeeld de Fanuc 120iB met een payload van 40kg. De terugverdientijd is 2 jaar.

Stapelen

Bij het stapelen kan er gebruik worden gemaakt van een palletiseermachine. Er zijn conventionele palletiseermachines en robot palletiseermachines. Conventionele palletiseermachines nemen veel ruimte in, maar zijn erg snel. Robot palletiseermachines zijn wat langzamer, maar zijn flexibeler. Merk wel op dat een robot palletiseermachine en wikkelaar ver onder zijn capaciteit draait, robot palletiseermachines zijn in staat om 1 tot 10 dozen per minuut te stapelen. Eén machine kan echter voldoen voor meerdere assemblagelijnen. Als een palletiseermachine zou worden toegepast, zal deze dus gebruikt worden bij alle assemblagelijnen. In de berekening van de investeringskosten en fte besparing is hier ook rekening mee gehouden. De terugverdientijd is 1,1 jaar.

Toepasbaarheid op andere lijnen

Bij het analyseren van de mogelijke verbeteringen bij de Tzerra lijn is het handig om de toepasbaarheid op andere lijnen te bekijken. Immers kunnen de kosten worden gedrukt door het toepassen van dezelfde manier van automatisering op meerdere lijnen door schaalvoordelen. De gelijkheid in werkplekken zal dienen als een indicator voor de toepasbaarheid op andere lijnen.

Elke werkplek wordt beoordeeld op het gelijkenissen met de andere beschikbare banen, namelijk de:

- Gas 310
- Calenta
- Quinta
- Avanta

Uit de resultaten blijkt dat de werkplekken FLM, Gas-Air en Pick to Light nergens anders voorkomen dan bij de Tzerra. Dit komt doordat er geen Gas-Air unit gebruikt wordt in de Gas310, Calenta, Quinta en Avanta. Daarnaast is er nog geen Pick to Light toegepast bij de andere assemblagelijnen.

De werkplekken frame, Wawi, assemblage, droge/natte test, afbouw, scan/inpak en stapelen komen allemaal voor bij de Calenta, Quinta en Avanta. De werkplekken van de Gas310 komen niet overeen wegens de grootte van de ketel en de totaal andere werkwijze.

	Gas310	Calenta	Quinta	Avanta
FLM/Gas-Air				
Pick to Light				
Frame		✓	✓	✓
WaWi		✓	✓	✓
Assemblage		✓	✓	✓
Droge/natte test		✓	✓	✓
Afbouw		✓	✓	✓
Scan en inpak		✓	✓	✓
Stapelen		✓	✓	✓

Tabel 8: toepasbaarheid per werkplek

3.6. Kwaliteit

De indicator voor de kwaliteit is het aantal fouten die gemaakt worden. Per werkplek zal een waardering worden toegekend van 1 t/m 5. Aangezien er geen concrete gegevens zijn over de menselijke fouten die per werkplek worden gemaakt is er een inschatting van de mogelijke fouten gemaakt. Het aantal fouten per werkplek is niet te bepalen, de beschikbare data is daarvoor te summier. Het aantal fouten kunnen alleen in relatie tot elkaar bepaald worden. De cijfers zullen als volgt worden verdeeld:

Cijfer	Omschrijving
1	Er worden weinig fouten gemaakt
2	Relatief weinig fouten
3	Gemiddeld aantal fouten
4	Redelijk veel fouten
5	Veel fouten

Tabel 9: verdeling waardering fouten

Kwaliteitsproblemen veroorzaakt door menselijke fouten die kunnen voorkomen bij de verschillende werkplekken. Er is weinig informatie beschikbaar over de precieze locatie van de fouten. Fouten die opgemerkt worden, worden vaak gelijk gecorrigeerd en niet gedocumenteerd.

Er is informatie beschikbaar over het aantal eigen fouten die gemaakt worden bij de Gas-Air stations en de droge/natte teststations. Daarnaast worden fouten die opgemerkt worden bij het testen ook geregistreerd. Dit zijn ongeveer 100 fouten per jaar die terug te leiden zijn naar verschillende werkplekken. Als laatste zijn er nog fouten die blijken uit externe klachten. Dit zijn assemblagefouten die opgemerkt worden nadat er een klacht over is ingediend. Voor de eigen fouten, testfouten en externe klachten zie bijlage 2.

De volgende tabel met bijbehorende cijfers is samengesteld in samenspraak met de teamleider van de Tzerra assemblagelijijn, mede bepaald door de eigen fouten, testfouten en externe klachten.

Werkplek	Cijfer	Omschrijving	Potentiele fouten
FLM/GA	1	Bij de FLM/GA kunnen weinig fouten gemaakt worden. De fouten die gemaakt worden hebben geen grote invloed op het proces, omdat ze snel te verhelpen zijn.	- Verkeerd plaatsen GA unit - Verkeerde gat stekker
P2L	1	Bij P2L kunnen wel fouten worden gemaakt, maar dit komt weinig voor. Door de implementatie van het Pick to Light systeem is het wel lastiger gemaakt om objecten niet te picken.	- Verkeerde component picken - Component vergeten te picken
Frame	3	Bij het frame worden relatief veel fouten gemaakt door de diversiteit aan handelingen die uitgevoerd moeten worden. De printers	- Beschadigen onderdelen - Componenten vergeten te picken/plakken

		geven storingen, waardoor papieren makkelijk te vergeten zijn.	- Laten vallen
Wawi	2	De fouten die bij de WaWi gemaakt worden, worden grotendeels ontdekt bij het testen. Door het lage aantal handelingen is de kans op fouten laag.	- Laten vallen
Assemblage	5	Bij de assemblage worden fouten gemaakt die vervolgens bij het testen worden ontdekt. De kans op fouten is hier groot door het grote aantal (verschillende) handelingen dat uitgevoerd moet worden (zie bijlage 6).	- Schroefverbindingen - Kabels die klem komen te zitten - O-ringen vergeten/onzorgvuldigheid
Testen	2	Bij het testen moeten veel handelingen uitgevoerd worden. Echter is het lastig om hier fouten te maken, het proces wordt begeleid door de techniek. Mocht het testen echter niet juist uitgevoerd worden zijn de consequenties groot.	- Test niet zorgvuldig uitvoeren - Docken aan verkeerde set
Vision	2	Er worden weinig fouten gemaakt.	- Ketel te veel laten bewegen, waardoor vision-scan niet lukt
Scan	1	De handelingen worden gedeeltelijk beheerd door de technologie, waardoor het vrijwel onmogelijk is om hier fouten te maken.	- Verkeerde doos
Stapelen	2	Fouten kunnen gemaakt worden die tijdrovende en dus kostbare gevolgen kunnen hebben.	- Niet opmerken dat sticker doos mist - Verkeerd stapelen

Tabel 10: kwaliteit per werkplek

Uit bovenstaande tabel kan geconcludeerd worden dat de meest foutgevoelige werkplekken de assemblage en het frame zijn. Dit is goed te verklaren, aangezien dit de werkplekken zijn waar onderdelen gemonteerd worden. Bij de werkplek Wawi (waar ook geassembleerd wordt) worden weinig handelingen uitgevoerd, waardoor de kans op fouten laag is.

3.7. Multi-criteria analyse uitvoeren

In de volgende paragraaf zal een Multi-criteria analyse (MCA) worden uitgevoerd. Een MCA is een hulpmiddel om besluitvormingsprocessen te structureren en om besluitmakers te helpen bij het vinden van de optimale balans tussen conflicterende doelen. (Beinat, 1997) Aan de gekozen criteria worden gewichten toegekend, de scores worden gestandaardiseerd en vervolgens worden de alternatieven beoordeeld in een tabel.

Toekennen gewichten

Aan de criteria zijn gewichten toegekend. Als methode om gewichten toe te kennen is er gekozen om elk criterium een cijfer te geven. Dit cijfer is gegeven in samenspraak met de volgende stakeholders: Directeur Operations, Manager Production Support, Production Engineer en Manager Production. Als methode om gewichten toe te kennen is er gebruik gemaakt van het geven van cijfers per criterium. In bijlage 13 zijn de verschillende aspecten en indicatoren met bijhorend gewicht te vinden.

Resultaten

In de volgende tabel zijn de resultaten van H3.2 tot en met H3.5 te vinden. Hoe hoger de totaalscore, hoe interessanter het is om de desbetreffende werkplek te automatiseren. Bij het bepalen van de gestandaardiseerde scores is er gebruik gemaakt van intervalstandaardisatie. Intervalstandaardisatie zorgt ervoor dat de slechtste score een 0 krijgt en de beste score een 1. De formules die gebruikt worden bij het bepalen van de gestandaardiseerde scores (Reinshagen, 2007):

$$\text{batencriterium: } \frac{\text{score} - \text{laagste score}}{\text{hoogste score} - \text{laagste score}}$$

$$\text{kostencriterium: } 1 - \frac{\text{score} - \text{laagste score}}{\text{hoogste score} - \text{laagste score}}$$

Bij de MCA is gebruik gemaakt van een batencriterium, behalve bij de kostenbesparing. Hoe langer de terugverdiensijd namelijk is, hoe minder interessant het is om te automatiseren. Het batencriterium betekent dat hoe hoger de niet gestandaardiseerde score is, hoe hoger de gestandaardiseerde score is. Bij de kwaliteit heeft dit bijvoorbeeld tot gevolg dat een waardering van 5,0 betekent dat de gestandaardiseerde score 1,0 is, dus aantrekkelijk om te automatiseren.

In de tabel in bijlage 14 zijn de resultaten van H3.2 tot en met H3.5 te vinden. Hoe hoger de totaalscore, hoe interessanter het is om de desbetreffende werkplek te automatiseren. Uit de MCA blijkt dat de werkplek Stapelen, daarna FLM/GA en daarna Frame het hoogst scoren. De nog niet gestandaardiseerde scores zijn te vinden onder de kolom 'Score, de gestandaardiseerde scores onder de kolom 'St.'.

3.8. Conclusie

Stapelen

Stapelen scoort het hoogste in de MCA. De werkplek stapelen scoort hoog op fysieke belasting en kostenbesparing.

Frame

De tweede werkplek die zal worden bekeken is frame. Het frame is een fysiek belastende werkplek en ook is de kans op fouten er hoog. Daarnaast is deze werkplek gelijk aan de werkplekken frame bij de andere assemblagelijnen.

FLM/GA

De derde en laatste werkplek die hoog scoort in de MCA is de FLM/GA werkplek. De kortste terugverdientijd is hier van toepassing, al is deze oplossing niet toepasbaar op de andere assemblagelijnen. Ook de fysieke belasting kan hier goed gereduceerd worden. Fouten worden hier echter nauwelijks gemaakt.

3.9. Beoordelen alternatieven

In de hoofdstukken 4, 5 en 6 zal er per werkplek bekeken worden wat de mogelijkheden tot automatisering zullen zijn. Als eerste wordt de huidige situatie bij de werkplek uitgelegd. Daarna zullen de mogelijke oplossingen per oplossing behandeld worden. Van elke oplossing zullen vervolgens het ontwerp, de aandachtspunten, cost-benefit analyse, gevolgen voor de fysieke belasting en de gevolgen voor de kwaliteit besproken worden.

Kosten-baten

In de hoofdtekst zal van elke oplossing de uiteinelijke terugverdientijd worden toegevoegd. In bijlage 9 is een uitgebreide versie van elke kosten-batenanalyse te vinden. Hieronder volgt een algemene toelichting van begrippen die in dit hoofdstuk gebruikt zullen worden.

Kosten van arbeid

Bij het berekenen van de kosten van arbeid wordt er gebruik gemaakt van kosten in tijd. De kosten per medewerker verschillen, afhankelijk van de functie en leeftijd van de medewerker. Zie tabel 15 voor de exacte kosten van arbeid.

Afschrijving

De economische afschrijvingstermijn bedraagt vanuit Remeha 7 jaar. Aangezien het gros van de machines langer meegaat dan 7 jaar is er in overeenstemming met de Production Support Manager gebruik gemaakt van een afschrijvingstermijn van 10 jaar.

Terugverdientijd

Voor de terugverdientijd wordt deze formule gebruikt (Brealey, Myers, & Allen, 2014):

$$\text{Terugverdientijd} = \frac{\text{Initiële investering}}{\text{Inkomende kasstroom per periode}}$$

Onderhoudskosten

De onderhoudskosten zijn gelijk aan 2% van de investeringskosten. Als indicatie werd door leverancier RFA (Rijlaarsdam Factory Automation) aangegeven dat er na de aanschaf van een robot een jaarlijkse controle nodig is. Deze controle zal één dag duren en wordt verzorgd door de leverancier van de robot. De kosten hiervan zijn maximaal 1% van de aanschafkosten. Om er zeker van te zijn dat de onderhoudskosten niet te laag worden ingeschat is er gekozen voor onderhoudskosten van 2%.

4. Automatisering van de werkplek stapelen

4.1. Huidige situatie

Het stapelen kan men indelen in twee delen (zie bijlage 16 voor een plattegrond):

1. Palletiseren – het verplaatsen van de ketel naar de pallet
2. Het verplaatsen van de pallet naar de wikkelmachine, wikkelen van de pallet en plaatsen SU-label

Palletiseren

Momenteel verloopt het palletiseren als volgt:

1. Een medewerker pakt een pallet en plaatst deze op de aangewezen plaats.
2. Een ketel is af en komt door de dozensluis op een rollenbaan.
3. Als de ketel aan het einde van de rollenbaan is wordt deze opgepakt door een medewerker met behulp van een Dalmec tilhulp.
4. De medewerker stapelt de ketels op de pallet in een bepaald patroon.
5. Tussen een aantal lagen dozen wordt een anti-slip vel geplaatst.
6. Na het vullen van de pallet met een vast aantal dozen is de pallet af en kan deze naar deel 2: het wikkelen.

Wikkelen

Momenteel verloopt het wikkelen als volgt:

1. Een gestapelde pallet wordt op de wikkelmachine geplaatst met behulp van een handpallettruck.
2. Alle ketels worden gescand met een handscanner.
3. De wikkelfolie wordt aan de gestapelde pallet bevestigd en het wikkelen wordt gestart.
4. Nadat het wikkelen is afgelopen wordt een SU-label geprint.
5. De verbinding tussen de wikkelfolie van de pallet en de wikkelmachine wordt verbroken.
6. Het SU-label wordt geplaatst op de gewikkelde pallet.

Momenteel worden de ketels van de Avanta, Calenta en Quinta assemblagelijnen niet gewikkeld, maar omgesnoerd. Na vervoer naar de transporteur worden de ketels die naar het buitenland moeten, de zgn. export-ketels, alsnog gewikkeld bij transporteur Beekman met als doel de palletlading te stabiliseren en te fixeren aan de pallet.

Centraal station

Het voordeel van het kiezen voor het automatiseren van het stapelen is dat de oplossing erg makkelijk kan worden geïntegreerd met de andere assemblagelijnen. Dit komt door de positionering van de banen. De stapel-werkplekken zitten namelijk allemaal aan het uiteinde van de assemblagelijnen vanuit de aard van het werk, alle producten moeten immers vervoerd worden in een doos en op een pallet. Daarnaast is het mogelijk dat automatische palletiseermachines niet rendabel zijn vanwege de lage productie (aantal ketels per periode) van een enkele assemblagelijnen en de hoge capaciteit van een palletiseermachine. Vanuit deze invalshoek zou er een centraal station kunnen worden gecreëerd dat het palletiseren en het insealen van alle banen kan verzorgen.

Fysieke belasting

Momenteel zijn er twee knelpunten: *duwen en trekken* en *werkhoudingen*.

Duwen en trekken

Het duwen van de handpallettruck op de wikkelmachine is een relatief fysiek belastende handeling. De duwkracht die hierbij nodig is, is > 7 kg, wat de aanbevolen waarde overschrijdt. Ook is voor het duwen en het trekken de KIM (evaluatie van trekken en duwen op basis van belangrijkste indicatoren) uitgevoerd. Uit de KIM bleek dat er bij het duwen van de handpallettruck sprake is van sterk verhoogde belasting. Er is namelijk fysieke overbelasting mogelijk bij de gemiddelde mens. Daarom wordt het herontwerp van de werkruimte aanbevolen. Zie bijlage 3.

Werkhoudingen

Met behulp van het WHI (werkhoudingeninstrument) is de werkhouding bij de werkplek stapelen geanalyseerd. Uit de WHI bleek dat er een verhoogd risico is op klachten aan het bewegingsapparaat. Het is belangrijk om maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen om de werknemers zo goed mogelijk te beschermen. Zie bijlage 3.

Kwaliteit

De waardering van de werkplek stapelen is 2. Dit betekent dat er relatief weinig fouten worden gemaakt. De fouten die er gemaakt worden zijn:

- Niet opmerken dat de sticker van een doos mist
- Verkeerd stapelen

Deze fouten kunnen tijdrovende en kostbare gevolgen hebben. Mocht het missen van een sticker niet opgemerkt worden, dan moeten hele pallets afgestapeld worden en eventueel zelfs dozen opengemaakt worden om te traceren welke ketel zich in welke doos bevindt.

Palletiseermachines

Bij het inventariseren van de mogelijkheden op de werkplek stapelen is het belangrijk om kennis te hebben van de verschillende soorten palletiseermachines die beschikbaar zijn. In de volgende alinea's zal het verschil tussen conventionele en gerobotiseerde palletiseermachines weergegeven worden.

Sinds 1950 zijn er conventionele automatische palletiseermachines beschikbaar. In 1990 kwamen de eerste gantry en jointed-arm robots op de markt die op het gebied van palletiseren veel konden toevoegen. Het artikel 'Conventional vs. Robotic Palletizing' van Intelligrated geeft dit verschil weer. (Intelligrated)

Gerobotiseerd palletiseren

Bij gerobotiseerd palletiseren wordt er gebruik gemaakt van een gantry of jointed-arm robot die het te palletiseren object op een pallet legt. Gerobotiseerd palletiseren is een goede oplossing voor bedrijven die veel verschillende producten hebben en tegelijkertijd een lage output. Een robot kan daarnaast makkelijk de input van meerdere verschillende invoerlijnen combineren. Ook is de precisie

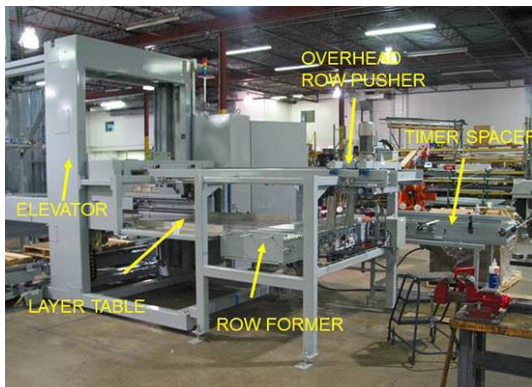
van een robot niet te evenaren met een conventionele palletiseermachines door het gebruik van vision technieken.



Figuur 3: Motoman palletiseermachine

Conventioneel palletiseren

Conventionele palletiseermachines schuiven de te palletiseren objecten met behulp van een schuif op de pallet. Conventionele palletiseermachines zijn in staat om erg hoge snelheden te bereiken. Vaak worden ze daarom ook gebruikt bij hoge snelheid fabricagelijnen in de voedsel- en consumentenproductenindustrie.



Figuur 4: BMH S4000 conventionele palletiseermachine

Gerobotiseerd palletiseren

Conventioneel palletiseren

Voordelen

Flexibel op het gebied van afmetingen van het te palletiseren object
Hoge accuraatheid/precisie
Meerdere invoerbanen
Gebruikt weinig ruimte
Meerdere SKU's mogelijk
Goedkoper bij lage capaciteit
Minder onderhoud
Palletpatronen makkelijk aanpassen

Hoge flexibiliteit op het gebied van verpakkingen en patronen
Hoge capaciteit
Goedkoper bij hoge capaciteit

Nadelen	Lage capaciteit	Veel ruimte nodig Vaak hoge invoer goederen benodigd
----------------	-----------------	---

Tabel 11: palletiseren

4.2. Inventarisatie mogelijkheden

De mogelijkheden tot automatisering zijn als volgt samengesteld:

- 4.3 Oplossing 1: automatisering van het **wikkelen** bij de **Tzerra** assemblagelijijn
- 4.4 Oplossing 2: automatisering van het **wikkelen** en **palletiseren** bij de **Tzerra** assemblagelijijn
- 4.5 Oplossing 3: **centraal wikkelstation** (voor **alle assemblagelijijnen**, exclusief staande ketels)
- 4.6 Oplossing 4: **centraal palletiseerstation** en **wikkelstation** (voor **alle assemblagelijijnen**, exclusief staande ketels)
- 4.7 Oplossing 5: **twee palletiseerstations** en **centraal wikkelstation** (voor alle assemblagelijijnen, exclusief staande ketels)

Deze mogelijkheden zijn samengesteld na uitvoerig marktonderzoek en gesprekken met potentiële leveranciers. Dit zijn tevens de mogelijkheden die het meest kosten-efficiënt zijn. Alle mogelijkheden die vooraf al kunnen worden afgeschreven op de te hoge kosten zijn niet meegenomen.

4.3. Oplossing 1: automatisering van het wikkelen bij Tzerra

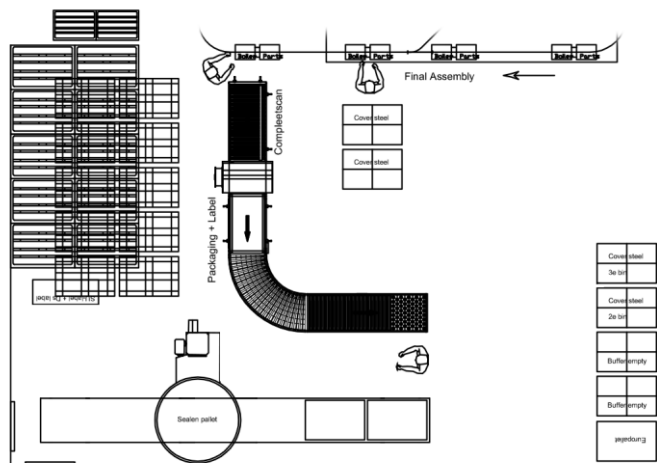
Het plaatsen van een automatische wikkelmachine (zie figuur 9) bij de Tzerra lijn. Bij een automatische wikkelmachine hoeft een werknemer de pallet niet meer te verplaatsen naar de wikkelaar, het folie te plaatsen, te starten, het folie los te maken en het SU-label te plaatsen.



Figuur 5: volautomatische wikkelmachine

Ontwerp

De medewerker kan in bovenstaand ontwerp de ketels direct plaatsen op de pallet en daarna op de rollenbaan. Als de pallet vol is zal het volautomatische systeem de pallet verplaatsen naar de wikkelmachine en deze wikkelen. Vervolgens zal de gewikkelde pallet verder rollen voor transport naar de expeditie.



Figuur 6: layout wikkelmachine Tzerra

Kosten-baten

De kostenbesparing wordt tweeweggebracht door de reductie in arbeid. Door het ontbreken van handelingen bij het wikkelen wordt gemiddeld 27 seconden per ketel bespaard. Dit geeft een terugverdientijd van 3 jaar.

Fysieke belasting

De fysieke belasting zal gereduceerd worden. De handpallettruck, volgeladen met dozen, zal nu niet meer de wikkelmachine opgeduwd hoeven te worden. Dit zorgt ervoor dat het knelpunt *duwen en trekken* opgelost wordt.

Het knelpunt *werkhoudingen* wordt niet opgelost. Er is namelijk nog steeds sprake van een verhoogd risico op klachten aan het bewegingsapparaat door het langdurig staand werken.

Kwaliteit

De fouten die mogelijk kunnen worden gemaakt bij de werkplek stapelen zijn nog steeds van toepassing. Daarom blijft de waardering 2.



4.4. Oplossing 2: automatisering palletiseren en wikkelen bij de Tzerra

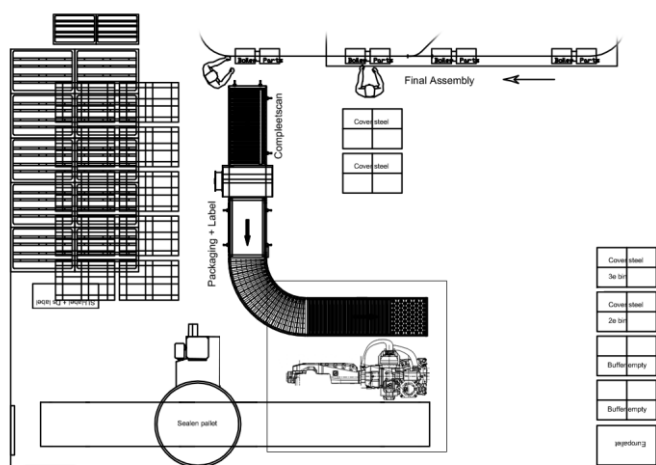
Het plaatsen van een vol-automatische palletiseermachine en vol-automatische wikkelaar bij de Tzerra lijn. Bij een vol-automatische palletiseermachine (figuur 11) en wikkelaar (figuur 9) hoeven er geen handelingen meer uitgevoerd te worden door een medewerker.



Figuur 7: voorbeeld palletiseerrobot

Ontwerp

De palletiseerrobot zal geplaatst worden direct na de werkplek scan/inpak. Achter de palletiseermachine zit gelijk de volautomatische wikkelaar, die alle pallets na het palletiseren inwikkelt.



Figuur 8: volautomatische palletiseer- en wikkelmachine



Kosten-baten

De grootste kostenbesparing zal voortkomen uit de besparing aan arbeidskosten, namelijk 18.000 euro per jaar. Met een investering van € 120.000 geeft dit geeft een terugverdientijd van 7,4 jaar.

Fysieke belasting

Van fysieke belasting zal geen sprake meer zijn vanwege de afwezigheid van menselijke arbeid. De knelpunten *trekken en duwen* en *werkhoudingen* zijn opgelost.

Kwaliteit

De kwaliteit zal stijgen naar 1, aangezien het niet meer mogelijk is om verkeerd te stapelen. Er moet zekerheid zijn dat de barcodes op de dozen goed zichtbaar zijn, anders is het mogelijk dat de palletiseermachine de doos niet herkent en niet weet op welke pallet de doos gestapeld moet worden.



4.5. Oplossing 3: centraal wikkelstation

Oplossing 3 borduurt voort op oplossing 1. Bij deze oplossing wordt gebruik gemaakt van een geautomatiseerd wikkelstation dat centraal geplaatst is. Dit centrale wikkelstation doet dienst voor alle assemblagebanen van de hangende ketels. Dit zijn de volgende assemblagebanen:

- Tzerra
- Quinta Pro
- Calenta
- Avanta

Ontwerp

Via een transportmethode zullen de gevulde pallets vanaf de assemblagelijnen vervoerd worden naar het centrale wikkelstation. Hier zullen de gevulde pallets volautomatisch worden gewikkeld door een wikkelrobot (zie figuur 9) en vervolgens klaargezet worden op een rollenbaan voor verder transport. Een mogelijke layout hiervoor is te zien in bijlage 17.

Aandachtspunten

De volgende aandachtspunten komen naar boven bij een mogelijke implementatie van deze oplossing:

Aandachtspunt 1: condens nat testen

Momenteel worden bij de assemblagelijnen van de Quinta Pro, Calenta en Avanta gebruik gemaakt van omsnoeringsmachines. Omsnoeringsmachines maken gebruik van een kunststofband die om de volgepakte pallet wordt vastgetrokken en bevestigd. De Quinta Pro, Calenta en Avanta maken allemaal gebruik van een natte test. Dit houdt in dat de ketel getest wordt met warm water op een correcte werking. Het nadeel van het nat testen is dat er water in de ketel blijft zitten. Wanneer de ketel in de doos gedaan wordt en vervolgens gestapeld wordt op een pallet schijnt de ketel nog uit te dampen. Dit is in de huidige situatie geen probleem omdat het sealen van de exportketels op zijn vroegst de volgende dag plaatsvindt bij de logistieke dienstverlener van Remeha. Hierdoor is de ketel voldoende uitgedampt.

Oplossingen voor aandachtspunt 1

Wikkelen met normale folie

Mocht er gebruik worden gemaakt van wikkelen met normale stretchfolie, dan moet worden onderzocht of de ketels last hebben van het uitdampen. Als het uitdampen een zodanig grote toename in luchtvochtigheid veroorzaakt waardoor het karton van de doos zijn sterkte verliest kan een gevolg hiervan zijn dat de dozen bezwijken onder het gewicht wanneer ze opgestapeld zijn. Echter is het karton van de dozen niet het enige wat voor de sterkte van de dozen zorgt. De binnenkant, de ketel en het bijhorende piepschuim hebben geen last van de luchtvochtigheid.

Mocht de condensvorming toch geen probleem blijken, dan is normale folie de juiste oplossing, aangezien deze het meest kostenefficiënt is.

Wikkelen met geperforeerde folie

Een andere optie is het wikkelen met geperforeerd stretchfolie. Door het gebruik maken van geperforeerd folie zullen de dozen geen last meer hebben van het uitdampen, aangezien de warme waterdamp weg kan uit de dozen. Het nadeel van geperforeerde folie is dat het twee keer zo duur is als normale folie. Daarnaast vereist geperforeerde folie een extra arm op de wikkelmachine die ervoor zorgt dat de geperforeerde folie goed om de pallet gewikkeld wordt (bron: Contimeta).



Figuur 9: geperforeerde folie

Omsnoeren

Er kan ook gebruik worden gemaakt van een omsnoeringsmachine, net als in de huidige situatie. De aanschaf van een volautomatische omsnoeringsmachine is hoger, de maandelijkse kosten echter lager. De kosten van omsnoeringsband zijn de helft van een vergelijkbare hoeveelheid wikkelfolie. Echter zullen de pallets na het omsnoeren alsnog ingewikkeld worden bij transporteur Beekman voor twee euro per pallet, de kostenbesparing zal dus een stuk lager uitvallen.

Gekozen is voor oplossing 2: het wikkelen met geperforeerde folie. Het wikkelen met geperforeerde folie is niet het goedkoopst, maar wel de beste oplossing. Bij het kiezen voor normaal folie is de kans aanwezig dat dit kan leiden tot grote kwaliteitsproblemen, namelijk het inzakken van de dozen. Verder onderzoek op het gebied van de verpakkingen van de cv-ketels van Remeha is noodzakelijk. Voor nu is oplossing 2 de best mogelijke oplossing. Als na verder onderzoek blijkt dat normaal folie ook nog geschikt is, kan er eenvoudig worden overgeschakeld naar normaal folie, wikkelmachines zijn namelijk compatibel met beide soorten. Oplossing 3 is niet kostenefficiënt, aangezien het wikkelen bij Beekman het omsnoeren vijf keer zo duur zou maken als wikkelen met geperforeerde folie. Daarnaast is een omsnoeringsmachine niet significant goedkoper dan een wikkelmachine. Voor een uitgebreide beschrijving van de kosten zie bijlage 4.

Aandachtspunt 2: verplaatsen pallets naar centraal wikkelfstation

Het verplaatsen van de pallets naar de expeditie gebeurt nu middels reachtruck. Het probleem bij het centraal wikkelen is dat de pallet met ketels erg instabiel is wegens gebrek aan omsnoering of wikkelfolie. Tijdens het vervoer naar de expeditie is de kans op beschadiging dus erg groot.

Oplossingen voor aandachtspunt 2

Verplaatsen met reachtruck met klem

Het verplaatsen van de pallets met ketels kan gebeuren door middel van een extensie aan de reachtrucks, een zogenoemde multi-purpose clamp. De heftruck kan zo de ketels vastklemmen door middel van een hydraulisch bediende klem die de aan de zijkanten bevestigd zit. Er wordt nog steeds

gebruik gemaakt van normale lepels, de klem is een extensie. De kosten voor deze extensie zijn laag, namelijk ongeveer 10.000 euro.



Figuur 10: heftruck met klem

Verplaatsen met rollenbaan

De pallets kunnen mogelijk verplaatst worden met een rollenbaan. Deze oplossing zal echter niet kostenefficiënt zijn, aangezien de pallets met ketels erg zwaar zijn en de eisen aan de rollenbaan erg hoog zullen zijn. Daarnaast zal de toegankelijkheid tot de assemblagelijnen sterk verminderen door een rollenbaan die langs alle banen loopt. De complexiteit en de kosten zullen sterk toenemen. Ook is de lading nog steeds instabiel en is er nog steeds kans op het omvallen van de ketels. De kosten per meter van rollenbaan zijn 750 euro.

Gekozen is voor oplossing 1, het verplaatsen met de heftruck. Een rollenbaan kost veel meer en het gevaar voor omvallen is nog steeds aanwezig.

Kosten-baten

De huidige kosten per jaar bestaan uit de kosten van arbeid, wikkelen en afschrijving. Momenteel wordt er 1800 uur per jaar aan arbeid besteed aan het wikkelen en omsnoeren. Daarnaast worden momenteel alle export-ketels gewikkeld bij transporteur Beekman voor internationaal transport. Met een investering van 60.000 euro bedraagt de terugverdientijd 0,7 jaar.

Fysieke belasting

De fysieke belasting zal gereduceerd worden. De handpallettruck, volgeladen met dozen, zal nu niet meer de wikkelmachine opgeduwd hoeven te worden. Dit zorgt ervoor dat het knelpunt *duwen en trekken* opgelost wordt.

Het knelpunt *werkhoudingen* wordt niet opgelost. Er is namelijk nog steeds sprake van een verhoogd risico op klachten aan het bewegingsapparaat door het langdurig staand werken.

Kwaliteit

De fouten die mogelijk kunnen worden gemaakt bij de werkplek stapelen zijn nog steeds van toepassing. Daarom blijft de waardering 2.



4.6. Oplossing 4: centraal palletiseer en wikkelstation

Oplossing 4.6 borduurt voort op oplossing 4.4. Bij deze oplossing wordt gebruik gemaakt van een geautomatiseerd palletiseer- en wikkelstation dat centraal geplaatst is. Dit centrale palletiseer- en wikkelstation doet dienst voor alle assemblagebanen van de hangende ketels. Dit zijn de volgende assemblagebanen:

- Tzerra
- Quinta Pro
- Calenta
- Avanta

Ontwerp

Het centrale palletiseerstation zal geplaatst worden op de plek waar het wikkelstation ook geplaatst kan worden. Bij het ontwerp is rekening gehouden met de afstanden die moeten worden afgelegd. Zie bijlage 18.

Aandachtspunten

De volgende aandachtspunten komen naar boven bij een mogelijke implementatie van deze oplossing:

Aandachtspunt 1: condens nat testen

Zie H4.5. Er wordt gebruik gemaakt van geperforeerd folie.

Aandachtspunt 2: verplaatsen van ketels naar centraal palletiseerstation

Het verplaatsen van de ketels gebeurt nu middels gevulde pallets en reachtrucks. Bij een centraal palletiseerstation is het onhandig om een reachtruck voor elke doos te laten rijden.

Oplossingen voor aandachtspunt 2:

Automated Guided Vehicle

Om de dozen te verplaatsen naar het centrale palletiseerstation kan er gebruik gemaakt worden van een Automated Guided Vehicle (AGV). De capaciteit die benodigd is hangt af van de totale afstand die moet worden afgelegd en de plaatsing van het palletiseerstation. De voordelen van een AGV zijn dat er geen rollenbanen of andere systemen geplaatst hoeven te worden wat de logistieke systemen van de bevoorrading van de banen in de war kan brengen. Daarnaast gaat er geen ruimte verloren aan rollenbanen die geen waarde toevoegen aan het product. In bijlage 19 is de productie per assemblagelijijn te vinden, met daarbij de bijhorende afstanden die een AGV zou moeten afleggen.

Het aantal ketels per uur is bepaald aan de hand van de hoogste takt. In werkelijkheid zal het aantal ketels per uur lager liggen. In totaal zal er 19,3 km in de hoogste takt moeten worden afgelegd. Een offerte van Creform geeft aan dat de kosten per AGV kunnen worden geschat op 20.000 euro. Een AGV van Creform legt maximaal 50 meter per minuut af, wat neerkomt op 3 km/uur. In de hoogste takt zijn er voor het transport 6,5 AGV's nodig. Daarnaast is de AGV nog tijd kwijt met laden en lossen, waardoor in totaal 10 AGV's benodigd zijn. De totale kosten voor een AGV zal uitkomen op 200.000 euro.



Figuur 11: Egemin E'gv Transfer AGV

Vloerkettingbaan

Een vloerkettingbaan neemt geen directe ruimte in op de fabrieksvloer. Bij een vloerkettingbaan zitten de karretjes die de ketels zullen vervoeren vast aan een ketting die in de vloer zit gemonteerd. Vloerkettingbanen zijn relatief duur, omdat de vloer ervoor aangepast moet worden. Daarnaast is een vloerkettingbaan niet handig met het oog op de toekomst. Bij het wijzigen van de assemblagelijnen/layout in de fabriek zal de hele vloer opnieuw ingelegd moeten worden.



Figuur 12: vloerkettingbaan

Rollenbaan

Een rollenbaan is de makkelijkste en meest voor de hand liggende oplossing. Bij een rollenbaan moet er rekening gehouden worden met de toegankelijkheid naar de banen. De bevoorrading van de assemblagelijnen gebeurt namelijk via de 'snelweg' direct naar de lijnen. Tussen de assemblagelijnen moet dus ruimte zijn voor intern transport van goederen. Dit heeft tot resultaat dat de rollenbaan de hoogte in moet, aangezien een ondergronds systeem niet mogelijk is wegens de huidige constructie van de vloer. Het transporteren omhoog zal gebeuren via een lift/helling.

De hoeveelheid rollenbaan die nodig is, is bepaald op zo'n 80 meter. Dit is exclusief bochten en eventuele liften/hellingen. Bij het bepalen van de benodigde lengte van de rollenbaan is rekening gehouden met de locatie van het centrale palletiseer-/wikkelstation. Wegens de hoogteverschillen



zullen de kosten voor een rollenbaan relatief hoog uitvallen. Logitrade (leverancier rollenbanen) schat de kosten voor het totale aantal rollenbanen in op 225.000 euro.

Keuze oplossing

	AGV	Vloerkettingbaan	Rollenbaan
Kosten	200.000	200.000	225.000
Voordelen	- Flexibel, op meerdere plekken in te zetten - Bevoorrading baan wordt niet gehinderd	- Bevoorrading baan wordt niet gehinderd	- Simpel en bewezen concept
Nadelen	- Ingewikkeld concept	- Aanpassen vloer kostbaar - Niet flexibel door aanpassing van vloer	- Bevoorrading baan wordt gehinderd door hoogte transport

Tabel 12: vergelijking verplaatsen dozen

Gekozen is voor oplossing 1: de AGV. Met oog op de toekomstige aanpassingen aan de productielijnen is het niet handig om een vloerkettingbaan of rollenbaan aan te leggen in de situatie van een centraal palletiseer- en wikkelstation.

Aandachtspunt 3: verschillende pallets en ketels

Momenteel wordt bij alle ketels gebruik gemaakt van verschillende pallets. Deze pallets zijn precies op maat voor de verschillende modellen ketels. Zie bijlage 20 voor de afmetingen van de pallets.

Er zijn dus zes verschillende afmetingen pallets. Bij het gebruik van een palletiseermachine zijn afwijkende palletformaten onhandig. De palletiseermachine moet namelijk voor elke batch ketels een andere pallet pakken. De maat van de ketel maakt in principe niet uit voor de palletiseermachine, zolang het gewicht/afmetingen maar binnen de payload (maximale tilcapaciteit) capaciteit van de palletiseermachine passen.

Oplossingen aandachtspunt 3: verschillende pallets en ketels

Een of twee gestandaardiseerde maten pallets

Als er gebruik gemaakt wordt van een standaardmaat pallet waarop meerdere soorten ketels passen, dan is er geen probleem met de palletiseermachine. Het realiseren van een standaardmaat pallet voor de ketels is echter erg lastig en vereist daarnaast de aanschaf van een groot aantal pallets. Daarnaast is momenteel alles afgestemd op dit formaat pallet.

Flexibele aanvoer pallets

Door de aanvoer van pallets ook te automatiseren kan de pallet tegelijkertijd aankomen met de batch en kan dit systeem ervoor zorgen dat er altijd de goede pallet ligt voor de juiste soort ketel.

Aandachtspunt 4: inhalende orders

Momenteel is het zo dat er een order binnenkomt en deze geproduceerd wordt. Deze order wordt verspreid over één of meerdere pallets, echter is deze order wel altijd een veelvoud van het aantal



dat op een pallet past. Wegens de spreiding in tijden van het testen, komen niet alle ketels tegelijk aan bij het palletiseren. Hierdoor is het mogelijk dat een ketel van een andere order een order inhaalt. Dit is momenteel opgelost door per baan meerdere palletplaatsen te maken, waarop ketels gestapeld kunnen worden. Momenteel zijn er tien palletplaatsen.

Oplossingen aandachtspunt 4: inhalende orders

Door gebruik te maken van een planning die rekening houdt met het gebruik van palletiseermachines is het mogelijk om ervoor te zorgen dat er nooit meer dan twee palletplaatsen benodigd zijn. Dit in combinatie met een bufferruimte zal ervoor zorgen dat er altijd een order de baan kan verlaten die op een pallet past.

Kosten-baten

De huidige kosten die bespaard worden bestaan voornamelijk uit de kosten voor arbeid en het wikkelen bij Beekman

Het wikkelen van de pallets met geperforeerde folie zal daarentegen zo'n 13.000 euro extra kosten. De investeringskosten bedragen zo'n 350.000 euro. Dit bestaat uit acht keer een AGV ter waarde van 20.000 euro. Daarnaast komen hier softwarekosten bij van 40.000 euro. De terugverdientijd is 2,1 jaar.

Fysieke belasting

Van fysieke belasting zal geen sprake meer zijn vanwege de afwezigheid van menselijke arbeid. De knelpunten *trekken en duwen* en *werkhoudingen* zijn opgelost.

Kwaliteit

De kwaliteit zal omhoog gaan, het is namelijk niet meer mogelijk om verkeerd te stapelen. Er moet zekerheid zijn dat de barcodes op de dozen goed te lezen zijn, anders is het mogelijk dat de palletiseermachine de doos niet herkent en niet weet op welke pallet de doos gestapeld moet worden. Waardering van 1 is toegekend.



4.7. Oplossing 5: twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation

Oplossing 4.7 borduurt voort op oplossing 4.6 en 4.5. Bij deze oplossing wordt gebruik gemaakt van twee palletiseerstations en een geautomatiseerd wikkelstation dat centraal geplaatst is. Dit centrale wikkelstation doet dienst voor alle assemblagebanen van de hangende ketels. Dit zijn de volgende assemblagebanen:

- Tzerra
- Quinta Pro
- Calenta
- Avanta

Ontwerp

De oplossing maakt gebruik van twee palletiseerstations die geplaatst zijn tussen de Tzerra en de Calenta en de Quinta en de Avanta. Het gebruik maken van twee palletiseerstations reduceert het gebruik van de relatief dure en hoge rollenbaan. Met het oog op de toekomst, waarbij het aantal assemblagelijnen mogelijk gereduceerd wordt naar twee, zal er achter elke assemblagelijijn één palletiseermachine komen te staan. In dit geval staat er een palletiseermachine achter de Tzerra en achter de Quinta-Calenta assemblagelijijn. De Avanta zal langzaam worden uitgefaseerd. Zo is er geen onnodig transport en hoeven er geen hooggelegen aangedreven rollenbanen worden aangelegd, waarvan de kosten erg hoog zijn.

In het ontwerp zijn twee lage rollenbanen aangelegd om ervoor te zorgen dat de ketels bij de twee palletiseerstations komen. Als de ketels eenmaal gepalletiseerd zijn kunnen de pallets verplaatst worden met een reachtruck naar het centrale wikkelstation, waar alle pallets samenkomen. Als de pallets gewikkeld zijn komen ze op een rollenbaan, waarna ze in de vrachtwagen geplaatst kunnen worden. Zie bijlage 21 voor een afbeelding van dit ontwerp.

Aandachtspunten

De volgende aandachtspunten komen naar boven bij de implementatie van oplossing 4.7.

Aandachtspunt 1: condens nat testen

Zie H4.5. Er wordt gebruik gemaakt van geperforeerd folie.

Aandachtspunt 2: verplaatsen pallets

Zie H4.5. Er zal gebruik worden gemaakt van een reachtruck met extensie voor het verplaatsen van de pallets van de palletiseermachines naar het wikkelstation.

Aandachtspunt 3: verschillende pallets

Zie H4.6. Door het verspreiden van de palletiseermachines over twee lijnen wordt het aantal verschillende pallets gereduceerd naar drie soorten pallets per palletiseermachine.

Aandachtspunt 4: inhalende orders

Zie H4.6. Gebruik maken van een aangepaste planning en een bufferruimte.



Aandachtspunt 5: routing bevoorrading assemblagelijnen

De Kan-Ban bevoorrading van de baan gebeurt momenteel met treintjes die een rondje rijden langs alle assemblagelijnen. De Kan-Ban kaarten worden hierbij opgepakt en vervolgens worden deze onderdelen opgehaald uit het magazijn.

Door het aanleggen van rollenbanen die ketels aanvoeren naar de palletiseermachines is de toegang naar de assemblagelijnen geblokkeerd. De routing van de Kan-Ban treintjes moet daarom aangepast worden. In bijlage 22 is een mogelijke routing voor de treintjes te zien. Verder onderzoek hiernaar zal nog moeten worden uitgevoerd.

Mocht de situatie van twee assemblagelijnen in plaats van vier de werkelijkheid worden, dan zijn er helemaal geen rollenbanen nodig en dus ook geen andere routing.

Kosten-baten

Net als bij het centraal palletiseren en wikkelen komen de grootste besparingen voort uit de arbeid en het wikkelen bij Beekman. De grootste kosten zijn de afschrijvingen van de investeringen. Er zal een totaal van twee palletiseermachines moeten worden aangeschaft. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van 60 meter rollenband, wat 75.000 euro kost. De wikkelmachine kost volgens ContiMeta 50.000 euro en de extensie voor de reachtruck zo'n 10.000 euro. Totaal komen de investeringen uit op 335.000 euro wat een terugverdientijd van 2,2 jaar geeft.

Fysieke belasting

Van fysieke belasting zal geen sprake meer zijn vanwege de afwezigheid van menselijke arbeid. De knelpunten *trekken en duwen* en *werkhoudingen* zijn opgelost.

Kwaliteit

De kwaliteit zal omhoog gaan, het is namelijk niet meer mogelijk om verkeerd te stapelen. Er moet zekerheid zijn dat de barcodes op de dozen goed te lezen zijn, anders is het mogelijk dat de palletiseermachine de doos niet herkent en niet weet op welke pallet de doos gestapeld moet worden. Waardering van 1 is toegekend.

4.8. Samenvatting stapelen

In hoofdstuk 4 zijn een vijftal oplossingen behandeld, deze zijn hieronder in de tabel weergegeven met bijhorende scores op de verschillende criteria:

Oplossing	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdientijd (jaar)	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Automatisering wikkelen	€ 35.000	€ 12.000	3,0	1	0
2. Automatisering wikkelen en palletiseren	€ 120.000	€ 16.000	7,4	2	1
3. Centraal wikkelstation	€ 60.000	€ 82.000	0,7	1	0
4. Centraal palletiseerstation en wikkelstation	€ 350.000	€ 167.000	2,1	2	1
5. Twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation	€ 335.000	€ 155.000	2,2	2	1

Uit deze tabel blijkt dat de beste oplossing het centrale palletiseerstation en wikkelstation is, oplossing 4. Deze oplossing geeft de hoogste inkomende kasstroom, de kortste terugverdientijd, de hoogste reductie in fysieke belasting en de beste verbetering in kwaliteit.

Toch kan het in de toekomst kosten efficiënter zijn om geen gebruik te maken van het centrale palletiseerstation, maar van twee losse palletiseerstations. Mogelijke aankomende veranderingen in de fabriek zorgen dat er minder rollenbaan benodigd is (75.000 euro lagere investeringskosten) en de terugverdientijd van oplossing 5 daalt naar 1,7 jaar.

Aangezien de fysieke belasting en kwaliteit bij beide gelijk is, is er gekozen voor oplossing 5.

5. Automatisering van de werkplek frame

5.1. Huidige situatie

De werkplek 'frame' kan men indelen in twee delen:

1. Verplaatsen tote, papieren en stickers naar productdrager
2. Plaatsen frame en expansievat (in geval van exportketel)

Zie bijlage 23 voor een plattegrond van de werkplek frame en bijlage 25 voor afbeeldingen van de werkplek frame.

Verplaatsen tote, papieren en stickers naar productdrager

Als de tote en buffer gevuld zijn met onderdelen bij de Pick to Light werkplek komen deze aan bij de werkplek frame. Hier wordt de tote gescand door een vaste scanner. Deze scanner triggert een labelprinter die een label print voor de buffer. Dit label is nodig om de ketel te identificeren als hij eenmaal in de doos zit. Zo kan er nog gecontroleerd worden of alle accessoires aanwezig zijn. De werknemer pakt het label en plakt deze op de buffer. Vervolgens plaatst de werknemer de tote en de buffer op de productdrager.

De tote en de buffer zijn essentiële onderdelen voor de assemblage van de ketel. Door de implementatie van de Pick to Light straat wordt er gebruik gemaakt van totes en buffers. In de tote zitten alle onderdelen die noodzakelijk zijn voor het assembleren van de ketel. In de buffer zitten onderdelen die los in de doos van de ketel moeten zitten. De onderdelen van de tote worden gebruikt bij werkplek 3 t/m 5 en de onderdelen van de buffer worden gebruikt bij werkplek 7 en 8.

Als laatste voegt de werknemer de garantieformulieren en energielabelpapieren toe aan de productdrager.

Plaatsen frame en expansievat

Na deel 1 wordt het frame en het expansievat geplaatst. Met Pick to Light wordt aangewezen welke componenten gepakt worden. Alleen bij de exportketels is het expansievat noodzakelijk. Het frame (en expansievat) worden na het plaatsen vergrendeld in de productdrager. Dit is noodzakelijk, omdat dit deel van de productdrager kan worden gedraaid. Daarnaast worden de stroomkabels gemonteerd en de drain safety valve gemonteerd.

Fysieke belasting

Momenteel zijn er twee knelpunten: *tillen en dragen* en *werkhoudingen*.

Tillen en dragen

Voor het tillen is de NIOSH uitgevoerd. Hieruit bleek dat de tilindex hoger is dan 1. Dit betekent dat er sprake is van een ongunstige tilsituatie met op den duur het risico van gezondheidsschade. Voor het dragen is de KIM voor dragen uitgevoerd. Uit de KIM bleek dat er sprake is van een sterk verhoogde belasting. Fysieke overbelasting is mogelijk bij de gemiddelde mens en een herontwerp van de werkruimte wordt aangeraden.

Werkhoudingen

Bij de werkplek frame is er sprake van een knelpunt op het gebied van werkhoudingen. Daarom is het WHI instrument gebruikt.

Bij de werkplek frame is er sprake van een hoog risico bij de houding rompbuiging, rompdraaiing en bovenarmheffing. Dit heeft tot gevolg dat er een sterk verhoogd risico is op klachten aan het bewegingsapparaat. Daarom is het belangrijk om direct maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen.

Daarnaast is er sprake van een middelmatig risico bij de houding nekdraaiing en buiging. Dit heeft tot gevolg dat er een verhoogd risico is op klachten aan het bewegingsapparaat. Het is belangrijk maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen.

Kwaliteit

Door het grote aantal verschillende handelingen dat moet worden uitgevoerd bij de werkplek frame worden er relatief veel fouten gemaakt. De onderdelen die hier foutgevoelig zijn, zijn de behuizing en de tote en buffer. Deze kunnen beschadigd raken of vallen. Daarnaast is het mogelijk, door eventueel disfunctioneren van de printers, de papieren vergeten toe te voegen aan de productdrager. In hoofdstuk 3.5 is er aan de werkplek frame een waardering van 3 van de 5 gegeven.

5.2. Inventarisatie mogelijkheden

Na een brainstormsessie zijn de volgende oplossingen tot stand gekomen:

- 6.3 Oplossing 1: De tote en buffer op de productdrager schuiven met een lopende band en **herontworpen productdrager**. Het expansievat en frame zal worden geplaatst met een robot.
- 6.4 Oplossing 2: **Robot** plaatsen die de tote, buffer, eventueel expansievat en frame naar de productdrager verplaatst.



5.3. Oplossing 1: Herontworpen productdrager

Oplossing 5.3 omvat het implementeren van een nieuw ontworpen productdrager en stickermachines.

Ontwerp

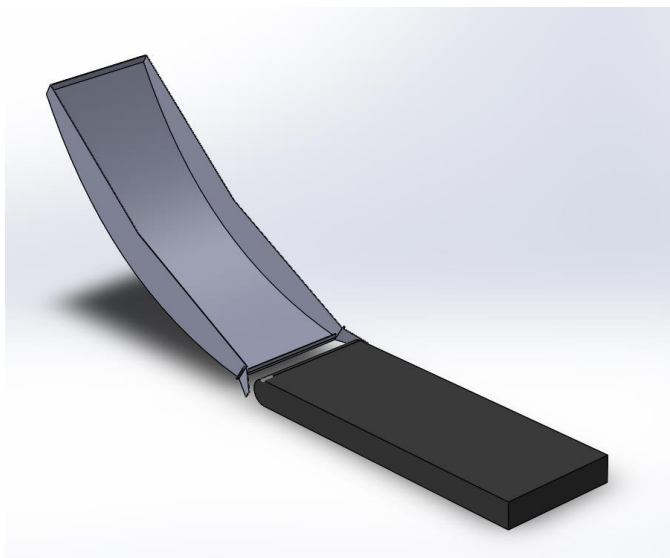
Momenteel worden de tote en de buffer aangeleverd via een aangedreven transportband. Deze transportband zal in deze oplossing dienen als aanvoer voor de productdrager. Het plaatsen van de stickers zal gebeuren door middel van een automatisch stickerapparaat. Er zijn twee soorten stickers die geplakt moeten worden:

- Sticker op buffer voor identificatie van de ketel nadat hij verpakt is voor het checken van de accessoires
- Sticker op behuizing met productnummer en serienummer

Het plaatsen van beide stickers zal gebeuren door middel van automatische labelmachines die aan de hand van het totenummer de sticker plaatsen. De sticker voor de buffer kan geplaatst worden op de rollenbaan vanaf de Pick to Light. De sticker voor het frame kan op de assemblagelijijn geplaatst worden na het plaatsen van de buffers.

De productdrager loopt over de assemblagelijijn met een aangedreven assemblagelijijn. Deze aangedreven lijn kan in principe niet stilstaan. Toch kan een drager tegen worden gehouden, zodat deze met de volgende meenemer meegenomen wordt.

Om te voorkomen dat de behuizing en het expansievat tijdens de montage uit de productdrager vallen zit er een vergrendeling ingebouwd. In het ontwerp zal de productdrager zo worden ontworpen dat het frame en expansievat worden vergrendeld als ze op de productdrager geschoven worden door de rollenband. Om te voorkomen dat de tote en buffer uit de productdrager vallen, zullen de tote en buffer in de productdrager terechtkomen en worden tegengehouden door een opstaande rand.



Figuur 13: voorbeeld productdrager 5.3

Het printen van de garantieformulieren en energielabel zijn de enige taken die nog resteren. Echter zijn deze papieren niet nodig tijdens de assemblage. Het meetransporteren van deze papieren is dus niet nodig en zelfs onnodig, aangezien er een extra handeling voor wordt verricht:

- Wachten op printers
- Papieren uit printer halen
- Naar productdrager lopen
- Klem op productdrager openhouden
- Papieren bevestigen in klem op productdrager

Bij het verpakken worden de handelingen wederom uitgevoerd:

- Klem openhouden
- Papieren eruit halen
- Papieren in de doos doen

Dit kan gereduceerd worden tot:

- Papieren uit printer halen
- Naar productdrager lopen
- Papieren in de doos doen

Hiermee wordt per ketel zo'n 5 seconden assemblagetijd bespaard. Daarnaast zijn er hierdoor geen menselijke handelingen meer nodig bij de werkplek frame. Ook raken de papieren niet meer beschadigd en verkreukeld bij het plaatsen op de productdrager en bij het monteren van de onderdelen op de ketel. De papieren hangen namelijk in de huidige situatie in het midden van de productdrager, waardoor de ketel deze kan kreuken bij het draaien van de productdrager.

Kosten-baten

De kosten voor de productdrager zullen ongeveer 200 euro per stuk bedragen, exclusief 2000 euro engineeringkosten. Er zijn momenteel 60 stuks productdragers nodig, dit komt uit op een totaalbedrag van 14.000 euro. Dit geeft een terugverdientijd van 2,1 jaar.

Fysieke belasting

Er is nog steeds sprake van de knelpunten *tillen en dragen* en *werkhoudingen*. Dit komt omdat het expansievat nog steeds op de productdrager getild moet worden. Daarnaast moet er nog steeds de hele dag gestaan worden.

Kwaliteit

Door het plaatsen van de tote en buffer met behulp van een automatische rollenbaan is er geen mogelijkheid meer dat deze op de grond valt of kapot gaat. Daarnaast worden de stickers automatisch geplaatst, dus deze kunnen niet meer vergeten worden. Ook worden de papieren naar een andere werkplek verschoven, waar deze mogelijk beter zichtbaar zijn. De kwaliteit gaat van waardering 3 naar 2.



5.4. Oplossing 2: Totaal robotiseren werkplek

Het plaatsen van het expansievat en frame zal plaatsvinden door middel van een robot. Deze robot zal door middel van een speciaal ontworpen arm alle werkzaamheden bij de werkplek 'frame' overnemen. De tote, buffer, expansievat en behuizing zullen verplaatst worden door middel van een robot in de productdrager.

Het plaatsen van de stickers en het printen van de garantieformulieren en energielabel zullen hetzelfde verlopen als in *H5.3*.

Kosten-baten

Er is sprake van 80.000 euro aan investeringskosten. Dit geeft een terugverdientijd van 1,9 jaar.

Fysieke belasting

Van fysieke belasting zal geen sprake meer zijn vanwege de afwezigheid van menselijke arbeid.

Kwaliteit

Door het verplaatsen van de menselijke handelingen naar een robot zal de kans op fouten lager worden. Evenals bij oplossing 1 worden de handelingen van het stickers plakken vervangen door stickermachines. Daarnaast wordt het printen van de garantieformulieren en energielabel verplaatst naar een andere werkplek. De kwaliteit neemt toe van een 3 naar een 1.

5.5. Samenvatting frame

Oplossing	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdientijd	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Productdrager	€ 31.500	€ 14.900	2,1	1	1
2. Robot	€ 80.000	€ 43.800	1,9	2	2

Bij de werkplek frame zijn de oplossingen productdrager en volledig robotiseren bekeken. De terugverdientijd van beide oplossingen ligt dicht bij elkaar. Echter worden er bij het volledig robotiseren twee knelpunten bij de fysieke belasting opgelost, er is namelijk geen sprake meer van menselijke arbeid, en ook stijgt de kwaliteit met 2 punten.

Dit zorgt ervoor dat de oplossing die geadviseerd wordt oplossing 2 is: het volledig robotiseren van de werkplek. Hierbij zullen alle onderdelen (expansievat, frame, tote en buffer) verplaatst worden met een robot. Daarnaast worden de stickers geplakt met behulp van stickerapparaten en zullen de garantie- en energielabelpapieren geprint worden bij de laatste werkplek.

6. Automatisering van de werkplek Gas-Air/FLM

6.1. Huidige situatie

De werkplek Gas-Air/FLM kan men indelen in twee delen:

1. Fluegas Level Measurement
2. Gas-Air unit afstellen

Voor een uitgebreide beschrijving van de werkplek GA/FLM, zie bijlage B16.

Fysieke belasting

Momenteel zijn er twee knelpunten: *hand-arm taken* en *werkhoudingen*.

Hand-arm taken

Het HARM instrument is gebruikt om de risico's op het gebied van hand-arm taken te analyseren. Er is een verhoogd risico op klachten aan arm, nek en schouder voor een deel van de werknemers. Het is belangrijk om maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen.

Werkhoudingen

Bij de werkplek FLM/GA is er sprake van een knelpunt op het gebied van werkhoudingen. Daarom is het WHI instrument gebruikt.

Uit het WHI instrument blijkt dat er een hoog risico is bij de houding staand werken. Dit heeft tot gevolg dat er een sterk verhoogd risico is op klachten aan het bewegingsapparaat. Daarom is het belangrijk om direct maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen.

Daarnaast is er sprake van een middelmatig risico bij de houding bovenarm heffing. Dit heeft tot gevolg dat er een sterk verhoogd risico is op klachten aan het bewegingsapparaat. Daarom is het belangrijk om direct maatregelen te nemen die het risico omlaag brengen.

Kwaliteit

Uit de analyse in H3.6 bleek dat kwaliteit geen groot probleem is bij de werkplek GA/FLM. De kans op fouten die later niet meer hersteld of opgemerkt kunnen worden is klein. Het is namelijk niet of nauwelijks mogelijk de GA unit verkeerd af te stellen, aangezien de test niet voltooid is zonder dat hij correct afgesteld is. Een waardering van 1 is toegekend aan de werkplek GA/FLM.

Wel is het mogelijk om bij de werkplek GA de stekker in het verkeerde gat te steken. Hierdoor wordt een adapter opgeblazen. Echter wordt deze aansluiting vervangen door een automatische verbinding, dus de stekker zal binnen korte tijd niet meer in gebruik zijn. Daarnaast komt uit de testgegevens naar voren dat de GA unit soms verkeerd geplaatst wordt. Zie tabel 18 met testdata uit geheel 2015.

Fout	Aantal	Toelichting
Verkeerd gat	34	Kabel voor communicatie met de computer wordt in het verkeerde gat gestoken.

Verkeerd plaatsen	79	Het scheef of verkeerd plaatsen van de GA unit in het teststation.
Anders	28	Overige fouten

Tabel 13: testdata FLM/GA

6.2. Inventarisatie mogelijkheden

Na een brainstormsessie zijn de volgende oplossingen tot stand gekomen:

6.3 Oplossing 1: het **automatiseren** van het **afstellen**

6.4 Oplossing 2: het **volledig robotiseren** van de werkplek inclusief het **automatiseren** van het **afstellen**

6.3. Oplossing 1: Automatiseren afstellen

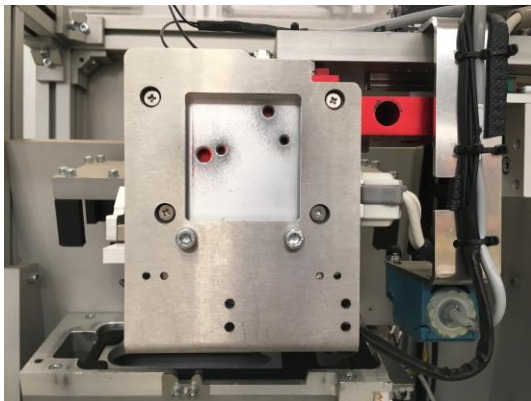
Het automatisch afstellen omvat het afstellen van de GA units door middel een automatisch systeem. Dit zal tot gevolg hebben dat er menselijke arbeid wordt bespaard bij de werkplek Gas-Air.

Ontwerp

Het afstellen zal gebeuren middels een stappenmotor die gemonteerd zit op het teststation. Dit betekent dat er vier afstelunits zullen zijn.

Momenteel zit er al een arm gemonteerd die aangeeft waar de werknemer de inbussleutel in moet steken. Deze arm kan bewegen over de x-as en y-as, en kan potentieel voldoen voor het positioneren van de stappenmotor voor de GA unit.

Hoe de juiste afstelling (hoever moeten de schroeven ingedraaid worden) bereikt moet worden is onzeker. Alle GA units komen binnen met specificaties van de leverancier. De toleranties van deze specificaties zijn echter ruim en niet geschikt voor alle landen. Het is mogelijk dat er een uitgebreide berekening moet plaatsvinden die rekening houdt met verschillende factoren die invloed hebben op de afstelling. Verder onderzoek naar het afstellen door middel van de GA units is hiervoor benodigd.



Figuur 14: arm afstellen GA unit

Kosten-baten

De kostenbesparing die gerealiseerd zal worden zal voornamelijk voortvloeien uit de reductie in arbeidskosten. Door het automatisch afstellen wordt 30 seconden aan menselijke arbeid per ketel bespaard. Dit geeft een terugverdientijd van 2,8 jaar.

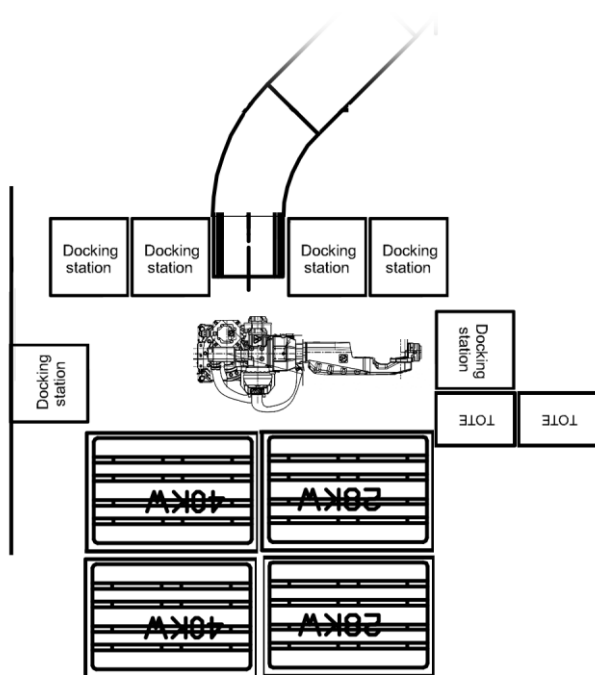
Fysieke belasting

Het knelpunt *hand-arm taken* zal opgelost worden door de afwezigheid van het fijne afstellen. Echter is er nog steeds sprake van een ongunstige werkhouding door het langdurig staand werken.

Kwaliteit

De kwaliteit heeft een waardering van 1 bij de GA/FLM werkplek, het automatisch afstellen zal hier niets aan veranderen.

6.4. Oplossing 2: Robotiseren FLM en GA



Tabel 14: plattegrond robotiseren FLM/GA

Verantwoording ontwerp

Bij het ontwerp is gekozen voor een layout waarbij het testen en de aanvoer van goederen centraal staat. De dockingstations voor de FLM en GA (Gas-Air) zijn gepositioneerd aan de bovenkant, zodat de goederen vanaf de onderkant aangevoerd kunnen worden. De tote-invoer zit aan de rechterbovenkant, zodat de totes vanaf de scan/inpak gelijk naar de FLM/GA kunnen rollen.

De goederen zijn geplaatst op rollenbanen die automatisch goederen aanvoeren. Er is een voorraad van twee keer 24 GA units voor de 40kW en de 20kW Tzerra. Deze voorraad is hoog genoeg voor de hoogste takt, met één keer per half uur nieuwe voorraad.

Eén centrale robot krijgt een order binnen via het ERP-systeem en pakt de desbetreffende GA unit. Vervolgens wordt deze GA unit geplaatst in het FLM dockingstation. Als deze test klaar is wordt de GA unit verplaatst naar het GA dockingstation waar hij wordt afgesteld. Als het afstellen voltooid is zal de robot de GA unit plaatsen op de tote en de order gekoppeld worden aan het tote-nummer. De tote zal via een rollenbaan verder worden afgevoerd naar de Pick to Light werkplek.

Oppakken GA unit en luchtdemper

De GA unit zal zo moeten worden vastgepakt dat hij probleemloos in de dockingstations kan worden geplaatst. Daarnaast moet dezelfde robot de luchtdemper ook monteren. Het monteren van de luchtdemper bestaat uit een aantal bewegingen om de demper te plaatsen en wordt afgesloten met het vergrendelen van de luchtdemper.

Het vastpakken van deze twee componenten zal met een speciaal ontworpen gripper gebeuren. Deze gripper moet dus compatibel zijn met zowel de luchtdemper als de GA unit.

Grijpers

De gripper van een robot is een van de belangrijkste delen van een robotsysteem. De gripper is de enige verbinding tussen de robot en het object. Bij het bepalen van een geschikte gripper voor de eventueel te plaatsen robot is het daarom nodig kennis te hebben van de verschillende beschikbare grippers.

Er zijn een drietal soorten grippers: single-surface grippers, klemmende grippers en flexibele grippers. In de volgende alinea's zullen deze drie soorten toegelicht worden. (D.T. Pham, 1990)

1. Single-surface grippers

Als er maar een enkel vlak van een object beschikbaar is, is een single-surface gripper de meest geschikte gripper. Single-surface grippers zijn geschikt voor lichte en zware objecten die een platte vorm hebben. De grippers die onder deze soort vallen werken met magnetisme, het opwekken van vacuüm en adhesie.

2. Klemmende grippers

Een klemmende gripper functioneert door middel van het uitoefenen van druk intern of extern op meer dan één van de oppervlakken van een object. De meest voorkomende soorten van de klemmende gripper zijn de tweepunts-gripper (klemmen op twee punten) of de driepunts-gripper (klemmen op drie punten). Bij een klemmende gripper kan er gebruik worden gemaakt van twee soorten aandrijving:

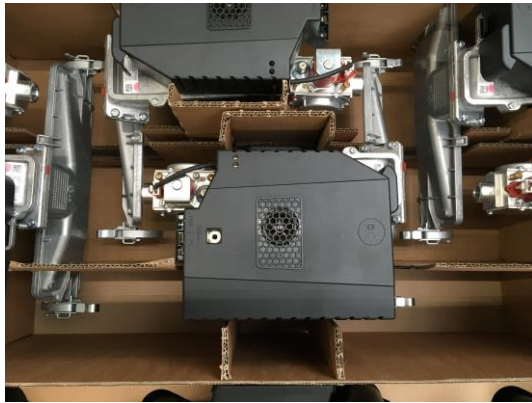
- Pneumatisch: bij een klein object met een laag gewicht wordt pneumatiek gebruikt (lucht). Pneumatiek heeft de voorkeur wegens de lage prijs, het lage gewicht en het gebruiksgemak.
- Hydraulisch: bij een groot object met een hoog gewicht, waarbij hoge krachten voorkomen, wordt gebruik gemaakt van hydrauliek.

3. Flexibele grippers

Een flexibele gripper is in staat om zijn vorm aan te passen aan de vorm van het object dat gepakt wordt. Enkele vormen van flexibele grippers zijn de volgende:

- Multifingered grippers: grippers met verbindingen zoals de menselijke hand
- Zachte grippers: door middel van kabels kunnen vingers zich om een object heen vormen
- Bladder grippers: door middel van een opblaasbare zak die geplaatst wordt in een object kan het object opgetild worden.
- Adjustable-jaw grippers: vergelijkbaar met een klemmende gripper, maar flexibel.

Bij de robot bij de GA/FLM zal er gebruik gemaakt worden van tweepunts klemmende grippers. Tweepunts grippers zijn gemaakt om druk uit te oefenen op meer dan één zijde van het object. Om deze grippers aan te sturen zal er gebruik gemaakt worden van pneumatiek. Dit is geschikt voor lichtere objecten die minder druk nodig hebben.



Figuur 15: GA unit in verpakking



Figuur 16: luchtdemper in verpakking

Afstellen

Afstellen zal plaatsvinden door middel van een stappenmotor (zie H6.3). Wegens de vertraging die in de metingen zit is het niet mogelijk de afstelkop te monteren op de robot zelf. Dit zal zorgen voor een te lange testduur per teststation. Zo zou 1 robot niet voor 4 teststations kunnen dienen, maar zijn er twee robots nodig. Dit betekent dat de kosten vrijwel zullen verdubbelen.

Kosten-baten

De kostenbesparing die gerealiseerd zal worden, zal voornamelijk voortvloeien uit de reductie in arbeidskosten. Alle menselijke handelingen van de FLM en de GA zullen worden vervangen door machines. Dit geeft een terugverdientijd van 0,8 jaar.

Fysieke belasting

Van fysieke belasting zal geen sprake meer zijn vanwege de afwezigheid van menselijke arbeid.

Kwaliteit

Door het gebruik maken van robots voor het plaatsen van de GA units zal het niet meer voorkomen dat de GA unit verkeerd geplaatst wordt. Echter moet er geborgd worden dat de verpakking altijd geschikt is voor de robot om de GA unit en het luchtfilter uit de verpakking te kunnen pakken. Mocht dit het geval zijn, dan blijft de waardering 1.

6.5. Samenvatting FLM/GA

Uit de oplossingen blijkt dat het voor de werkplek FLM/GA voordelig is om deze volledig te automatiseren, oplossing 2. Hierbij zal een robot de GA units uit de doos pakken en zullen deze automatisch afgesteld worden. De terugverdientijd van deze oplossing is aanzienlijk korter dan die van het automatisch afstellen, oplossing 1, en ook de fysieke belasting zal er baat bij hebben. Beide oplossingen hebben echter geen noemenswaardige invloed op de kwaliteit. Dit komt doordat kwaliteit bij deze werkplek geen groot probleem is. Toch zullen er geen fouten meer worden gemaakt. Het verkeerd plaatsen van de kabel zal niet meer mogelijk zijn en ook kan de unit niet verkeerd afgesteld worden.

Oplossing	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdientijd	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Automatisch afstellen	€ 60.000	€ 21.000	2,8	1	0
2. Robot en automatisch afstellen	€ 120.000	€ 147.600	0,8	2	0

7. Conclusie en discussie

Conclusie

In de conclusie zal duidelijk worden of er een oplossing is gevonden voor het kernprobleem:

“Er is te weinig sprake van automatisering bij de assemblagelijijn, waardoor er teveel fouten gemaakt worden, te veel werknemers zijn en de handelingen te zwaar zijn.”

In hoofdstuk 3 is er eerst antwoord gegeven op de deelvraag: ‘Welke drie delen van de assemblagelijijn kunnen het best geautomatiseerd worden?’. Na het indelen van de assemblagelijijn in werkplekken is elke werkplek beoordeeld op de aspecten fysieke belasting, kostenbesparing en kwaliteit. Na het uitvoeren van een multi-criteria analyse is gebleken dat de werkplekken die het best geautomatiseerd kunnen worden GA/FLM, Frame en Stapelen zijn.

Bij het oplossen van het kernprobleem zijn er voor de werkplekken GA/FLM, Frame en Stapelen een aantal alternatieve oplossingen bekeken. Uit de alternatieve oplossing bleek er voor elke werkplek een oplossing is die het kernprobleem oplost. De oplossing twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation zorgt er bij de werkplek Stapelen voor dat er een besparing gerealiseerd wordt, de fysieke belasting daalt en de kwaliteit stijgt. Dit is ook zo bij de werkplekken frame, met de oplossing volledig robotiseren, en FLM/GA, met de oplossing robotiseren en automatisch afstellen. Hierdoor is aangetoond dat automatisering ervoor kan zorgen dat op bepaalde werkplekken bij de Tzerra assemblagelijijn de fysieke belasting daalt, de kwaliteit gewaarborgd wordt en er sprake is van kostprijsreductie.

Discussie

Bij het bepalen van de fysieke belasting is gebruik gemaakt van de checklist fysieke belasting van TNO. Om de fysieke belasting exact te meten bij alle werkplekken zullen alle vervolginstrumenten gebruikt moeten worden bij de risicogebieden. Daarnaast zullen er voor exacte kostenberekeningen offertes bij meerdere leveranciers aangevraagd moeten worden. Wegens het grote aantal oplossingen is het in deze korte tijdsperiode niet mogelijk geweest om voor elke oplossing een offerte te bemachtigen. Ook is het, vanwege de absentie van accurate data over de gemaakte fouten, lastig om de huidige kwaliteit vast te stellen.

Een aantal suggesties voor vervolgonderzoek zijn:

1. Allereerst is het aan te bevelen voor Remeha om te onderzoeken wat de effecten van het nat testen zijn op het wikkelen met dichte folie van een pallet vol met ketels. Binnen Remeha bestaat er over dit onderwerp namelijk onduidelijkheid. Onderzoek hiernaar kan een kostenbesparing van 10.000 euro per jaar opleveren ten opzichte van het wikkelen met geperforeerde folie bij het implementeren van het centrale wikkelstation.
2. Bij het implementeren van oplossing 6.4, het robotiseren van de FLM/GA, is het nodig dat oplossing 6.3 (automatisch afstellen) geïmplementeerd is. Onderzoek naar het gedrag van het afstellen bij de GA stations is nodig om het automatisch afstellen te kunnen realiseren.
3. Daarnaast is het aan te bevelen voor Remeha om de knelpunten bij de werkplekken die niet behandeld zijn te onderzoeken en zo mogelijk aan te pakken. Het aanpakken van deze

knelpunten heeft tot doel een positief effect te hebben op de fysieke belasting en dus een positief effect te hebben op de medewerkers.

4. In de toekomst kan er mogelijk verder onderzoek gedaan worden naar de mogelijkheden tot automatisering op andere werkplekken die hoog hebben gescoord in de MCA van hoofdstuk, bijvoorbeeld de werkplekken Droge/natte test en de Wawi.

8. Aanbevelingen

Stapelen

De oplossing die in het onderzoek naar voren is gekomen, is dat Remeha er voordeel van zal behalen als het twee palletiseerstations en een centraal wikkelstation implementeert. Met het oog op de toekomst, waarbij er mogelijk gebruik gemaakt zal worden van twee grote assemblagelijnen, zal deze oplossing het meeste kostenefficiënt zijn. In deze toekomstsituatie is namelijk geen rollenbaan benodigd (75.000 euro lagere investeringskosten). Dit levert de kortste terugverdientijd van 1,7 jaar op. Daarnaast zorgt deze oplossing ervoor dat de fysieke belasting afneemt naar 0 knelpunten en de kwaliteit toeneemt naar de waardering 1.

Het is voor Remeha BV aan te raden om te beginnen met de implementatie van het centrale wikkelstation (die in de toekomst compatibel is met palletiseermachines). De benodigde investering voor het centrale wikkelstation is laag en heeft een snelle terugverdientijd. Daarna kan deze investering uitgebreid worden met de losse palletiseermachines als de beide assemblagelijnen voltooid zijn.

Bij de implementatie van de oplossing moet er wel rekening worden gehouden met de aandachtspunten. De invloed van condens die ontstaan bij het nat testen op het wikkelen zal eerst moeten worden onderzocht. Daarnaast zal er bij de planning rekening moeten worden gehouden met de volgorde van de ketels en de routing van de bevoorrading van de banen.

	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdientijd (jaar)	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Automatisering wikkelen	€ 35.000	€ 12.000	3,0	1	0
2. Automatisering wikkelen en palletiseren	€ 120.000	€ 16.000	7,4	2	1
3. Centraal wikkelstation	€ 60.000	€ 82.000	0,7	1	0
4. Centraal palletiseerstation en wikkelstation	€ 350.000	€ 167.000	2,1	2	1
5. Twee palletiseerstations en één centraal wikkelstation	€ 335.000	€ 155.000	2,2	2	1

Frame

De geadviseerde oplossing voor de werkplek frame is het volledig robotiseren van de werkplek, oplossing 2. Het volledig robotiseren zal zorgen voor een afname van de fysieke belasting en een toename van de kwaliteit. Echter kan het robotiseren van de werkplek er niet geheel voor zorgen dat alle taken worden gerobotiseerd. Daarom zullen sommige taken, waaronder het printen van de formulieren, verplaatst moeten worden naar een andere werkplek. Dit levert tevens een efficiency voordeel op. Bij deze oplossing zullen alle knelpunten op het gebied van de fysieke belasting opgelost worden en zal de kwaliteit toenemen naar waardering 1.

	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdien- tijd	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Productdrager	€ 31.500	€ 14.900	2,1	1	1
2. Robot	€ 80.000	€ 43.800	1,9	2	2

FLM/GA

De werkplek FLM/GA zal er baat bij hebben om volledig te worden geautomatiseerd. Een robot kan dienst doen door de GA units te pakken en vervolgens zullen de GA stations de GA units automatisch afstellen. Dit zal leiden tot een afname van de fysieke belasting en een grote kostenbesparing.

Voordat de werkplek volledig geautomatiseerd kan worden is het noodzakelijk om het automatisch afstellen geïmplementeerd te hebben. Door de aanwezigheid van robots is het namelijk niet meer mogelijk om door mensen te laten afstellen.

	Benodigde investering	Inkomende kasstroom	Terugverdien- tijd	Reductie knelpunten	Verhoging kwaliteit
1. Automatisch afstellen	€ 60.000	€ 21.000	2,8	1	0
2. Robot en automatisch afstellen	€ 120.000	€ 147.600	0,8	2	0

Bibliografie

- Beinat, E. (1997). *Value functions for environmental management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Belastingdienst. (sd). <http://www.arboportaal.nl/onderwerpen/themas/fysieke-belasting>.
- Brealey, R. A., Myers, S. C., & Allen, F. (2014). *Principles of Corporate Finance* (11e editie ed.). Berkshire: McGraw-Hill Education.
- Canton, E. (2002). *Concurrentie en innovatie: Implicaties voor marktwerkingsbeleid*. CPB.
- Chan, V., & Salustri, F. A. (2005, 12 27). *Design for Assembly*. Opgeroepen op 7 5, 2016, van <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmdfa.html>
- Chang, T.-C., Wysk, R. A., & Hsu-Pin, W. (2005). *Computer-Aided Manufacturing (3rd)*. Pearson.
- D.T. Pham, S. Y. (1990). *Grippex: A hybrid expert system for selecting robot gripper types*. Uppsala Universiteit.
- Dhafr, N., Ahmad, M., Burgess, B., & Canagassababady, S. (2006). *Improvement of quality performance in manufacturing organizations by minimization of production defects*.
- Escalante, E. J. (1999). Quality and productivity improvement: a study of variation and defects in manufacturing.
- Frohm, J. (2008). *Levels of Automation in Production Systems*. Göteborg, Sweden: Department of Product and Production Development Chalmers University of Technology.
- Heerkens, H. (2012). *Geen probleem: een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Van Winden Communicatie.
- Hegde, G. S. (2006). *A Textbook on Industrial Robotics*. Laxmi Publications.
- Intelligrated. (sd). Conventional vs. Robotic Palletizing.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way*. Tata McGraw-Hill.
- Martin, T. K. (1991). *Appropriate automation-Integrating Technical, Human, Organizational, Economic and Cultural Factors, Automatica*.
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. (sd). *Wat is de NIOSH-methode?* Opgeroepen op 2016, van Arboportaal: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/tillen-en-dragen/vraag-en-antwoord/wat-is-de-niosh-methode>
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). *A model for types and levels of human interaction with automation*. IEEE.
- Reinshagen, E. (2007). *Formalisering van toekenning van gewichten binnen een Multi Criteria Analyse*.
- Saptari, A., Ng, K. P., Leau, X. J., & Mohamad, E. (2014). *Human Error and Production Rate Correlation in Assembly Process of Electronics Goods*.
- Sheridan. (2002). *Humans and Automation: System Design and Research Issues*.
- Thomas R. Waters, P., Vern Putz-Anderson, P., & Arun Garg, P. (1994). *Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation*. U.S. Department of Health and Human Services.
- TNO. (2012). *Fysieke belasting beoordelen*. Opgeroepen op 2016, van TNO: fysiekebelastingbeoordelen.tno.nl
- TNO. (sd). *TNO*. Opgeroepen op 2016, van <https://www.tno.nl/nl/over-tno/organisatie/>
- Zia, M., & Cortes Mora, F. (2008). *Automation of Packaging Process*.

Tabellen

Tabel 1: fysieke automatisering	17
Tabel 2: cognitieve automatisering	18
Tabel 3: eigenschappen robots	21
Tabel 4: LoA werkplek GA/FLM	28
Tabel 5: LoA per werkplek	28
Tabel 6: voorbeeld knelpunten beoordelen	29
Tabel 7: fysieke belasting per werkplek	30
Tabel 8: toepasbaarheid per werkplek	32
Tabel 9: verdeling waardering fouten	33
Tabel 10: kwaliteit per werkplek	34
Tabel 14: palletiseren	41
Tabel 16: vergelijking verplaatsen dozen	51
Tabel 18: testdata FLM/GA	63
Tabel 19: plattegrond robotiseren FLM/GA	65

Figuren

Figuur 1: probleemkluwen	11
Figuur 2: niveau 1 en niveau 2 beoordelingen fysieke belasting	16
Figuur 7: Motoman palletiseermachine	40
Figuur 8: BMH S4000 conventionele palletiseermachine	40
Figuur 9: volautomatische wikkelmachine	42
Figuur 10: layout wikkelmachine Tzerra	42
Figuur 11: voorbeeld palletiseerrobot.....	44
Figuur 12: volautomatische palletiseer- en wikkelmachine	44
Figuur 14: geperforeerde folie	47
Figuur 15: heftruck met klem	48
Figuur 17: Egemin E'gv Transfer AGV	50
Figuur 18: vloerkettingbaan	50
Figuur 24: voorbeeld productdrager 5.3	58
Figuur 15: arm afstellen GA unit.....	64
Figuur 29: GA unit in verpakking	67
Figuur 30: luchtdemper in verpakking.....	67