

Maintenance & Mechanical Engineering

Bachelor Scriptie Werktuigbouwkunde

Bart Simons

13.06.2017

bolsius
Colour your home



<u>Project</u>	Maintenance & Mechanical Engineer, nieuwe productielijn
<u>Kader</u>	Afstudeerstage
<u>Student</u>	Bart Simons
<u>Telefoon</u>	00 31 6 4052 9475
<u>Studentnummer</u>	2224232
<u>Opleiding</u>	Werktuigbouwkunde
<u>Email student</u>	22b.simons@gmail.com bart.simons@nl.bolsius.com
<u>Periode</u>	06/02/2017-30/06/2017
<u>Bedrijf</u>	Bolsius International BV
<u>Adres</u>	Exportstraat 41
<u>Postcode + Plaats</u>	5831 AK BOXMEER
<u>Land</u>	Nederland
<u>Telefoon</u>	0485 581 444
<u>Bedrijfsbegeleider</u>	Brinks, Jeffrey
<u>Email bedrijfsbegeleider</u>	Jeffrey.Brinks@nl.bolsius.com
<u>Docentbegeleider</u>	Kamp, Jacques J.C.M. van de
<u>Email docentbegeleider</u>	j.vandekamp@fontys.nl
<u>Examinator</u>	Hulsbosch, T.
<u>Gecommitteerde</u>	Kappel, S.
<u>Geheimhoudingsplicht</u>	Nee
<u>Datum</u>	13/06/2017

VOORWOORD

Mijn naam is Bart Simons, ik ben 21 jaar en studeer werktuigbouwkunde aan de Fontys Hogeschool in Venlo. Met veel enthousiasme begon ik in februari aan de opdracht bij Bolsius. Naast het succesvol afronden van de afstudeerstage en het behalen van het diploma, keek ik uit naar een leerzame periode. Ik hoopte meer inzicht te krijgen in de samenhang tussen construeren en onderhouden. Ik wil alvorens het lezen van de scriptie mijn bedrijfs- en docentbegeleider enorm bedanken voor het ondersteunen en begeleiden bij het succesvol afronden van deze opdracht.

De afstudeeropdracht ging uit van de afdeling TPM (total production maintenance). Deze afdeling is verantwoordelijk voor het onderhoud aan alle machines in de fabriek. Mijn opdracht bestaat uit twee delen. Een deel van mijn taak is het opzetten van een onderhoudsplan voor de nieuwe productielijn. De tweede taak is een stukje engineering. Voor een machine met verhoogd risico op falen en hoge onderhoudskosten wordt een verbetervoorstel gemaakt. Beide taken zullen leiden tot een verhoging van de levensduur en een verlaagde kans op onvoorziene stilstanden.

Tijdens de opleiding is weinig aandacht besteed aan Maintenance en dat is jammer. Ik heb veel geleerd over de belangen van goed georganiseerd onderhoud en wat daarmee te verdienen is. Ik besef tevens dat alle constructieve ontwerpen gevolgen hebben voor de manier waarop het onderhoud moet plaatsvinden. Beslissingen ten aanzien van het ontwerp bepalen daardoor de totale kostprijs van een machine. Bij verkeerde besluiten kan de kostprijs oplopen door hoge onderhoudskosten.

Ik ben daarom blij dat ik de kans heb gekregen om binnen Bolsius met maintenance kennis te maken. Alles wat ik geleerd heb is enorm interessant voor iedere werktuigbouwkundige engineer. Niet alleen interessant maar zelfs noodzakelijk voor het optimaal kunnen construeren van een machine. Daarom durf ik nu te zeggen dat er te weinig aandacht aan Maintenance is besteed binnen de opleiding werktuigbouwkunde in Venlo.

Ik hoop dat u als lezer net zo enthousiast bent als ik. Daarom nodig ik u uit om verder te lezen, zodat ik mijn resultaten van deze leerzame periode met u kan delen. Ik hoop u aan het einde van dit verslag geïnspireerd te hebben over het belang van een slim ontwerp en goed onderhoud.



FIGUUR 1 PROFIELFOTO

SAMENVATTING/SUMMARY

NL: In deze afstudeerstage is getracht om een zo efficiënt mogelijk onderhoudsplan op te zetten voor een nieuwe productielijn bij Bolsius. Wanneer men door het magazijn van Bolsius – ongeordend en overvol – loopt zal de noodzaak voor een gestructureerd plan direct duidelijk zijn. Het is een theoretische opdracht die doormiddel van praktijkervaring van vak experts zal worden ingevuld. Dit betekent dat de afstudeerder een logische structuur heeft samengesteld voor het bepalen van onderhoudstaken. Die opzet behoeft bepaalde input van engineers met werkervaring. Uiteindelijk is alles verwerkt in een digitaal computerprogramma.

Het streven is om een technische beschikbaarheid van 98% te behalen met een maximaal onderhoudsbudget van 3% van de aanschafwaarde per jaar. De resultaten van de afstudeer opdracht zullen stilstanden beperken, maar om aan het gestelde doel te voldoen zullen engineeringsopdrachten moeten worden uitgevoerd. In de afstudeeropdracht is zo'n opdracht gedaan. In deze verbeteropdracht is gekeken naar de huidige aandrijving van de transportbanden. Uit de resultaten is gebleken dat de motorkeuze correct gemaakt is, maar dat er in constructief oogpunt nog het een en andere te verdienen/besparen valt.

De voornaamste conclusies uit de afstudeerperiode zijn dat de gestelde doelen daadwerkelijk nagestreefd moeten worden en niet direct te bereiken zijn. Maar doordat alle beslissingen theoretisch onderbouwd en digitaal verwerkt zijn, is het makkelijker om hierin bij te sturen. Door bij te sturen zal men van zijn fouten leren en doormiddel van een leerproces uiteindelijk zijn gestelde doel behalen. Dit leerproces, ook wel de bekende "learning curve", kan geacceleereerd worden door engineeringsopdrachten.

ENG: During this graduation internship is attempted to setup a efficient as possible maintenance report for one of Bolsius' newest production lines. The need for a structured plan explains itself when one would walk through the stockroom – disordered and packed . The theoretical task will be fulfilled by the input of well-experienced technical craftsman. This means that the graduate student created a theoretically supported structure to determine every specific maintenance task. The structure requires some input of the experienced engineers. In the end everything is put into a digital computer program.

The final goal is to reach a technical availability of 98% with a aimed annual maximum budget of 3% of the total purchase costs. The results of the graduation task will reduce production stops to a minimum, but to meet the specific goals there is a need of constructive improvements. One of those constructive improvements is made during the graduate project, it's an improvement regarding the conveyer belts' electric drives. The results have shown that the motor is chosen correctly, but changes in constructive aspects saves significant maintenance costs.

The graduate project main results shows that the aimed goals aren't directly reachable but should be strived over time. It's made easy to correct things during the process because every decision is theoretically supported and digitally processed. By correcting things they will learn from their mistakes and in the end reach their specific goals. This learning process, also known as the 'learning curve', can be accelerated by constructive improvements.

ANTIPLAGIAATVERKLARING



Fontys Hogeschool Techniek en Logistiek

Verklaring m.b.t. originaliteit / antiplagiaatverklaring

Hierbij verklaar ik dat dit door mij ingeleverde rapport mijn eigen originele werk is en ik het zelfstandig en zonder gebruik van andere dan de toegestane en door mij aangegeven bronnen en hulpmiddelen heb gemaakt.

Het rapport is niet, geheel of gedeeltelijk, geschreven door een ander dan wel geheel of gedeeltelijk overgenomen uit andermans werk.

Alle passages in het rapport die ik letterlijk of inhoudelijk uit gepubliceerde en niet gepubliceerde teksten heb overgenomen, zijn kenbaar gemaakt door middel van bronvermeldingen in de tekst en in de literatuurlijst.

Ik ben mij ervan bewust dat plagiaat zal leiden tot het ongeldig zijn van de beoordeling van dit afstudeerverslag en dat, indien er sprake is van plagiaat, er maatregelen/sancties zullen volgen¹.

Naam: *Bart Simons* Handtekening: *B. Simons*

Plaats / datum / jaar: *Middelbaar*
03/02/2017.

¹ Zie ook het fraudebeleid onder
https://portal.fontys.nl/instituten/tbm/students/examination_board/Beleidsdocumenten/FHTenL%20Fraudebeleid.pdf

FIGUUR 2 ANTIPLAGIAAT VERKLARING

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	3
Samenvatting/Summary	4
Antiplagiatverklaring	5
Inhoudsopgave	6
Figurenlijst	7
Begrippenlijst	8
1. Inleiding	9
2. Achtergrondinformatie	10
2.1 Bedrijfsbeschrijving	10
2.2 Aanleiding van de opdracht	11
2.3 Projectorganisatie	11
2.4 De opdracht	12
2.4.1 De probleemstelling	12
2.4.2 De opdrachtsbeschrijving	12
2.5 Verwachte resultaten	13
3. Programma van eisen	13
4. Maintenance project	14
4.1 Flowchart onderhoudsplan	14
4.1.1 Overzicht	14
4.1.2 Decompositie	16
4.1.3 Errors	16
4.1.4 Kriticaliteit	17
4.1.5 Onderhoudsbehoefte	17
4.1.6 Controleren & beheren	17
4.2. Beslissings-schema's	18
4.2.1 Onderhoudsstrategie	18
4.2.2 Spareparts	19
4.3 Leveranciers	20
4.4. Het effect van Maintenance control	20
5. Mechanical project	22
5.1 De analyse	22
5.2 Huidige ontwerp	23
5.2.1 Constructie	23
5.2.2 Vooronderzoek	24
5.2.3 berekening	25

5.3 Conceptfase	27
5.3.1 Concepten	27
5.3.2 Componenten	27
5.4 Concept keuze	29
5.4.1 Uitgewerkt concept	30
6. Advies	38
7. Conclusie	39
8. Bronvermelding	40

FIGURENLIJST

<i>Figuur 1 profielfoto</i>	3
<i>Figuur 2 Antiplagiat verklaring</i>	5
<i>Figuur 3 Organigram Bolsius Boxmeer</i>	10
<i>Figuur 4 Learning curve met behulp van MC</i>	22
<i>Figuur 5 Situatieschets krachten transportband</i>	26
<i>Figuur 6 gekozen concept</i>	29
<i>Figuur 7 Koppel-toeren krommen inductiemotor</i>	30
<i>Figuur 8 Koppel- Toeren kromme</i>	32
<i>Figuur 9 Belastingklassen</i>	33
<i>Figuur 10 Overzicht lengte t.o.v. energiebesparing per jaar (IE4)</i>	36
 <i>Tabel 1 Overzicht vergelijking motoren</i>	 28
<i>Tabel 2 Maximale en minimale belasting motor</i>	32
<i>Tabel 3 Geschikte motoren</i>	37

BEGRIPPENLIJST

FMECA	Failure mode, effects and criticality analysis. Methode voor de risicoanalyse en –beoordeling van processen / objecten.
TAO	Toestand Afhankelijk Onderhoud. Onderhoud verrichten wanneer een waarde onder vereist niveau gemeten wordt.
SAO	Storingsafhankelijk Onderhoud. Onderhoud verrichten wanneer iets uitvalt.
GAO	Gepland Afhankelijk Onderhoud. Periodiek onderhoud onafhankelijk van de toestand op dat moment.
Maintenance Control (MC)	Software pakket waarin het onderhoud en de spareparts beheerd worden.
Eenpuntsles	Opmerking, korte instructie. Meestal in de vorm van een sticker.
WI	Werkinstructie
TPM	Total Production Maintenance
1 ^e lijns	Operator, persoon direct aan de lijn.
2 ^e lijns	Monteur, technische medewerker van Bolsius.
3 ^e lijns	Specialisten, vanuit extern bedrijf.
MTTF	Mean Time To Failure = tijd tot vallen
TCO	Total Costs of Ownership
LSPM	Line Start Permanent Magnet
Industry 4.0	Nieuwste trend op het gebied van productiefabriek waarbij automatisatie, data generatie en communicatie tussen machines centraal staan.
Industrial Internet of things (IIoT)	Het genereren van big data met behulp van sensors waardoor je je machines beter leert kennen. Ofwel het digitaal vastleggen van de fysieke toestand van je machine.
EIA	Energie-investeringsaftrek

1. INLEIDING

De productielocatie van Bolsius in Boxmeer heeft vanuit het hoofdkantoor de opdracht gekregen om de productie uit te breiden met 11 miljoen kaarsen per jaar. Om dit te realiseren is geïnvesteerd in een nieuwe en efficiëntere productielijn. De productielijn is grotendeels geautomatiseerd zodat de benodigde uitbreiding aan arbeidskrachten tot een minimum kan worden beperkt. Hierdoor is het mogelijk om de fabriek in Nederland operatief te houden. De afstudeeropdracht zal resulteren in een gestructureerde wijze om deze productielijn te onderhouden. De noodzaak hiervoor is enorm hoog omdat bij Bolsius tot op de dag van vandaag helaas vooral correctief onderhoud gedaan wordt. Het resultaat hiervan zijn lange productiestops die de vereiste productie deadlines in gevaar brengen.

Preventief onderhoud is niet alleen bij Bolsius een probleem. Onlangs heeft IBM een artikel¹ gepubliceerd waarin ze schrijven dat plant managers te weinig digitale data van het proces verzamelen om juiste beslissingen te kunnen nemen.

Natuurlijk speelt de wetenschap hierop in en wordt er druk naar een oplossing gezocht. Zo heeft het WEF (world economic forum) een onderzoek² gedaan naar Industrial Internet (of things). Hierin stellen zij dat met nieuwe technologieën data gegenereerd kunnen worden die de toestand van ieder individueel onderdeel registreert. Met deze vorm van 'predictief onderhoud' zou men 12% minder uitgaven aan gepland onderhoud kunnen behalen, 30% minder reparatiekosten en tot wel 70% minder ongeplande stilstanden hebben. Ook op de website van Forbes werd recentelijk gesproken over 'industry 4.0'³. Dit zou het volgende tijdperk worden van productiefabrieken zogenaamde 'smart factories'. Een belangrijk onderdeel hierbij is de digitale monitoring van fysieke processen. Met deze techniek kan men natuurlijk optimaal preventief onderhoud verrichten.

Het is voor veel bedrijven, ook voor Bolsius, een te grote en niet reële stap van geen structuur naar de meest hightech technologieën voor het registreren van draaiuren en belastingen, te maken. Het doel is om een stap te zetten in de richting van deze nieuwe technologieën. De eerste stap is het op een gestructureerde wijze onderhoud plannen en dit proces te registreren en te beheren. Op deze manier kan Bolsius een leerproces ontwikkelen, waarbij uiteindelijk de productie volledig gecontroleerd kan worden.

Hoofdstuk 2 is een informerend hoofdstuk, hierin wordt wat verteld over het bedrijf, met welk probleem ze kampen en welke opdracht hieruit tot stand gekomen is. In hoofdstuk 3 wordt een set van eisen vanuit het bedrijf gegeven waar de uiteindelijke oplossing aan moet voldoen. Hoe het onderhoudsplan tot stand is gekomen staat stap voor stap beschreven in hoofdstuk 4. De volgende stap om het bereikte resultaat te halen zijn verbetervoorstellen. Een constructief verbetervoorstel staat in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 is een advies voor Bolsius opgesteld. Het verslag wordt in hoofdstuk 7 afgerond met een conclusie.

¹ <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/digitally-dark-manufacturing-plant/>

² http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf

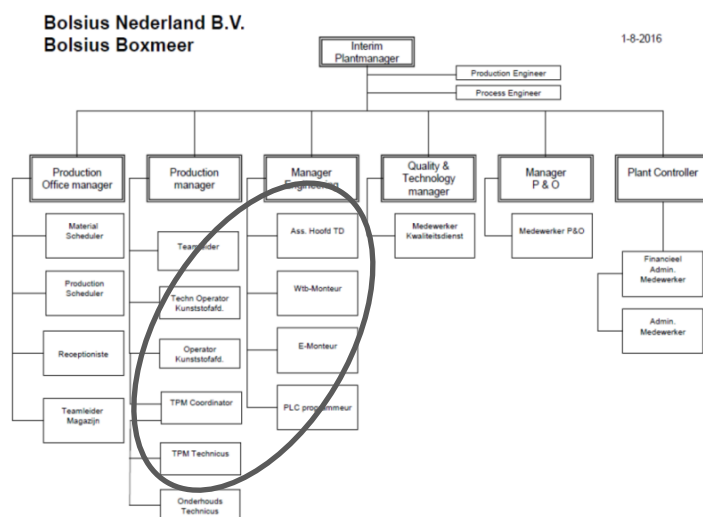
³ <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#956736f795f7>

2. ACHTERGRONDINFORMATIE

2.1 BEDRIJFSBESCHRIJVING

Bolsius is in 1870⁴ in Schijndel opgericht als wasblekerij door Antonius Bolsius, waar tot op de dag van vandaag nog steeds het hoofdkantoor gevestigd zit. In 1920 begon men in Schijndel kerkkaarsen te produceren. Dit is uitgegroeid tot een wereldwijd concern dat in 2014 goed was voor een omzet van €213.000.000⁵. Bolsius is bij de meeste mensen bekend vanwege de sfeerkaarsen die in alle maten en kleuren te verkrijgen zijn. Naast de vele type kaarsen zoals, dinerkaarsen, drijfkaarsen, rustiek kaarsen, geurkaarsen en offerkaarsen produceert Bolsius per jaar ruim een miljard theelichtjes.

Op de locatie in Boxmeer worden kaarsen in potjes geproduceerd, denk hierbij aan plastic potjes, glazen potjes en waxinelichtjes (bijlage 1. ASSORTIMENT BOXMEER). De productie wordt volledig in-house gedaan; van plastic potjes, de pitjes (wax-draad + metalen verbindingstuk) tot en met het afvullen en bestickeren van de potjes. Vanwege de productie uitbreiding met 11.000.000 kaarsen per jaar zal er een investering worden gedaan voor de bouw van een nieuwe productielijn. De productielijn moet in juli 2017 werkzaam zijn en de mogelijkheid bieden om vele soorten producten in verschillende verpakkingsvormen te produceren. De lijn zal grotendeels geautomatiseerd zijn om de personeelskosten zo laag mogelijk te houden. Deze productielijn wordt in eigen beheer gebouwd door Bolsius. Een groot deel van de machines zal aangekocht worden bij derden, tevens zal er een deel "oude" machines hergebruikt worden. Dit geheel wordt door de afdeling Engineering gekoppeld en grotendeels softwarematig aangestuurd vanuit één Operation-Panel.



FIGUUR 3 ORGANIGRAM BOLSIOUS BOXMEER

In het organigram is de positie van de afstudeerder weergegeven binnen de afdeling TPM (Total Production Maintenance) (zie bijlage: 2. ORGANIGRAM BOLSIOUS BOXMEER). Het project waarin de afstudeerder actief is, is omcirkeld in

⁴ <https://www.bolsius.com/historie/>

⁵ <http://www.elsevier.nl/economie/achtergrond/2016/04/dit-zijn-de-honderd-grootste-familiebedrijven-van-nederland-2-2784780W/>

het organigram. Dit overlapt naast de TPM-afdeling een groot gedeelte van de engineeringsafdeling.

2.2 AANLEIDING VAN DE OPDRACHT

Vanwege de productie uitbreiding met 11.000.000 kaarsen per jaar zal er een investering gedaan worden om een nieuwe productielijn te bouwen. Om de output van de verkochte kaarsen te kunnen garanderen, zal tijdens de productie gestreefd worden naar een technische beschikbaarheid van 98%. Dit percentage kan alleen gehaald worden door kritisch te kijken naar onderhoud en de juiste reserve onderdelen op voorraad te hebben. De afdeling TPM (Total Production Maintenance) is verantwoordelijk voor het behalen van de technische beschikbaarheid. Dit doen zij d.m.v. preventief en correctief onderhoud op alle productie machines. Hierbij moeten de kosten van het onderhoud in ogenschouw genomen worden. Er wordt naar een maximaal budget van 2 à 3 procent van de aanschaf waarde van de productiemachines per productlijn per jaar gestreefd. Het onderhoud en spareparts worden beheerd vanuit het software pakket "maintenance control". In dit systeem staan de uit te voeren onderhoudstaken en de aanwezige spareparts. Tevens is er een lijst met eerstelijns taken, welke door de operators uitgevoerd dienen te worden. De productielijn zal elke 2 weken 2,5 uur stopgezet worden om specifieke onderhoudstaken uit te voeren welke tijdens een stilstand uitgevoerd dienen te worden.

2.3 PROJECTORGANISATIE

Er zijn relatief veel mensen betrokken bij het maintenance project. Denk hierbij aan de engineeringsafdeling, de technisch-operators, monteurs en de TPM afdeling. Zij hebben een adviserende rol. In het organigram betreft dat dus vrijwel iedereen die onder de production manager en Manager Engineering vallen. Daarnaast moet men denken aan leveranciers en externe bedrijven. De TPM Coördinator is Jeffrey Brinks en hij is tevens de afstudeerbegeleider vanuit Bolsius. Vooral bij het opstellen van de FMECA's (bijlage 3. FMECA & KRITICITEIT MATRIX) is de inbreng en kennis van andere partijen van belang. Operators en mensen van de engineeringsafdeling zullen een betere risicoschatting kunnen maken en hebben hier ook een andere kijk op. In het stadium van het maken van de FMECA's zal dus veel overleg plaatsvinden. In het daarop volgende stadium waarbij het onderhoudsplan opgesteld wordt, worden externe bedrijven en leveranciers benaderd. Zij kunnen aangeven wat de levertijden bedragen en binnen welke termijn zij ter plekke kunnen zijn. Voor de bijbehorende werkinstructies (WI) zullen operators verantwoordelijk gesteld worden. In vergelijking met het maintenance project zijn er bij het mechanical project relatief weinig mensen betrokken. Het engineeringproject zal grotendeels individueel gedaan worden. Vanzelfsprekend zullen mensen van de engineersafdeling tijd vrij maken voor advies en overleg wat betreft het ontwerp. Ook zal aan de mensen van de engineeringsafdeling worden gevraagd hun visie te geven op de risico analyse wat betreft de nieuwe FMECA.

2.4 DE OPDRACHT

2.4.1 DE PROBLEEMSTELLING

Bepaal de **onderhoudsbehoefte en spareparts** van productielijn 8, waarmee gestreefd kan worden naar de *gewenste* technische beschikbaarheid van 98% tegen de *gewenste* onderhoudskosten van maximaal 3% van de aanschafwaarde.

2.4.2 DE OPDRACHTSBSCHRIJVING

Doormiddel van FMECA's bepaalt men de kriticaliteit van de machines voor de output van de productielijn. Door van deze machines een eigen FMECA te maken, kunnen onderdeel-specifieke onderhoudstaken met de benodigde intervallen opgesteld worden. Deze onderhoudstaken worden daarna opgedeeld in de volgende onderhoudsstrategieën:

- TAO (Toestand Afhankelijk Onderhoud)
- SAO (Storingsafhankelijk Onderhoud)
- GAO (Gepland Afhankelijk Onderhoud)

Tevens wordt bepaald wie welke taken uitvoert op basis van complexiteit:

- Eerstelijnsonderhoud (operator)
- Tweedelijnsonderhoud (monteur)
- Derdelijns onderhoud (fabrikant/specialist)

Voor het eerstelijnsonderhoud is het van belang dat de methodiek vast ligt in een werkinstructies of eenpuntsles. Voor niet routinematige taken dient ook het tweedelijns onderhoud omschreven te worden in een werkinstructie.

Nadat de onderhoudsstrategie bepaald is, kunnen de benodigde spareparts worden vastgesteld. Voor het bepalen van de voorraad reserve onderdelen spelen diverse criteria een rol, zoals levertijden, afspraken met leveranciers over veiligheids- of consignatievoorraden of algemene verkrijgbaarheid / uitwisselbaarheid en kosten. Dit alles moet zorgen voor het behalen van de 98% beschikbaarheid.

Tijdens de eerste bespreking over de onderhoudsbehoefte van machines is de engineeringsoopdracht tot stand gekomen. Er werd geconstateerd dat de huidige aandrijving van transportbanden achterhaald en enorm onderhoudsgevoelig is. Het huidige ontwerp is al twintig jaar onveranderd. In de huidige situatie worden alle transportbanden aangedreven door een elektromotor. Op de uitgaande as zit een tandwiel bevestigd dat doormiddel van een ketting de aandrijf-as aandrijft (bijlage 4. SITUATIESCHETS MECHANICAL PROJECT). Deze constructie brengt veel risico's met zich mee: tandwielen kunnen verkeerd uitgelijnd zijn t.o.v. elkaar, tandwielen kunnen los gaan zitten door een slechte passing, lage kettingspanning kan leiden tot slijtage of tandwielen raken vervuild waardoor eveneens slijtage optreedt. Omdat dit al twintig jaar de gebruikelijke werkwijze is wordt hoognodig tijd om dit ontwerp nog eens te herzien.

Het doel van het mechanical project is om de onderhoudsbehoefte van de aandrijving te reduceren.

Om de doelstelling te behalen dienen alle mogelijke alternatieven vergeleken te worden. Er kan gekozen worden voor een andere motor, een andere

overbrenging of het anders positioneren van de motor. Uiteindelijk moet het resulteren in een **realistisch verbetervoorstel**.

Samenvattend lopen er twee projecten naast elkaar: het **maintenance project** en het **mechanical project**. Beide projecten hebben betrekking op de nieuwe productielijn. Het resultaat van beide projecten zal aan het einde van de afstudeerperiode terug te vinden zijn in de FMECA's en resulteren in een reductie van de onderhoudskosten.

2.5 VERWACHTTE RESULTATEN

Het onderhoud ligt vast in het "Maintenance Control" onderhoudssysteem (bijlage 5. MAINTENANCE CONTROL). Het beschrijft onder meer wie wat doet, wanneer en welke onderdelen hier voor nodig zijn.

De methodiek van het onderhoud ligt vast in een kort document. Denk hierbij aan werkinstructies en/of eenpuntslessen

De benodigde reserve onderdelen worden vast gelegd in het "Maintenance Control" onderhoudssysteem, zodat de personen welke deze onderdelen nodig hebben, deze ook eenvoudig kunnen vinden. Hierin kan ook staan dat het specifieke onderdeel nog bij de leverancier op voorraad ligt.

De geschatte onderhoudskosten liggen vast in het "Maintenance control" onderhoudssysteem, zodat de kosten transparant zijn en er een goed onderbouwde begroting voor de komende jaren kan worden afgegeven.

Het afstudeerverslag moet een handleiding vormen voor het opzetten van onderhoud op alle productielijnen / machines.

Voor het correct afronden van de engineeringsopdracht dient een realistisch verbetervoorstel opgeleverd te worden. Dit verbetervoorstel bevat op zijn minst de onderstaande elementen:

Een constructierapport bestaande uit een onderzoek, concepten en een nieuw ontwerp.

3. PROGRAMMA VAN EISEN

Bedrijfseisen: maintenance project

- De productielijn heeft een technische beschikbaarheid van ten minste 98%. Dit is vastgesteld door het management en wordt getest aan de hand van de DIN8743-norm.
- De onderhoudskosten van de productielijn zijn maximaal 3% van de aanschafwaarde / jaar. De aanschafwaarde is 2,5 miljoen, 3% van het totaal bedrag is dus €75.000,-.
- 80% van de onderhoudskosten bestaan uit voorziene kosten.
- De onderhoudsbehoefte moet vastliggen in Maintenance Control.
- Het afstudeerverslag moet een handleiding vormen om voor de andere productielijnen gemakkelijk het onderhoud te bepalen.

Bedrijfseisen: mechanical project

- De terugverdien tijd t.o.v. de huidige aandrijving is maximaal 5 jaar.
- De bandsnelheid is 28,2 m/s.
- De band lengte is maximaal 25m.
- De Rexnord LF-880 TABK 325 band wordt gebruikt.
- De onderhoudskosten van de band reduceren met minimaal 25%.

Bedrijfswensen: mechanical project

- In verband met het milieu is het wenselijk de stroomkosten van de band te reduceren met minimaal 25%.

4. MAINTENANCE PROJECT

4.1 FLOWCHART ONDERHOUDSPLAN

Het doel van het maintenance project is, zoals eerder beschreven, het opzetten van een rapport, waarin de onderhoudskosten en spareparts bepaald zijn. Om dit te bepalen wordt een analyse gedaan. De analyse bestaat uit een aantal op elkaar volgende stappen en is verwerkt in een flowchart, zie volgende bladzijde. In deze flowchart staat stap voor stap beschreven hoe alles bepaald moet worden en welke documenten daarbij geraadpleegd moeten worden (bijlage 6. Flowchart onderhoudsplan). In de rest van hoofdstuk 4 staat in iedere paragraaf een stap gedetailleerd uitgewerkt.

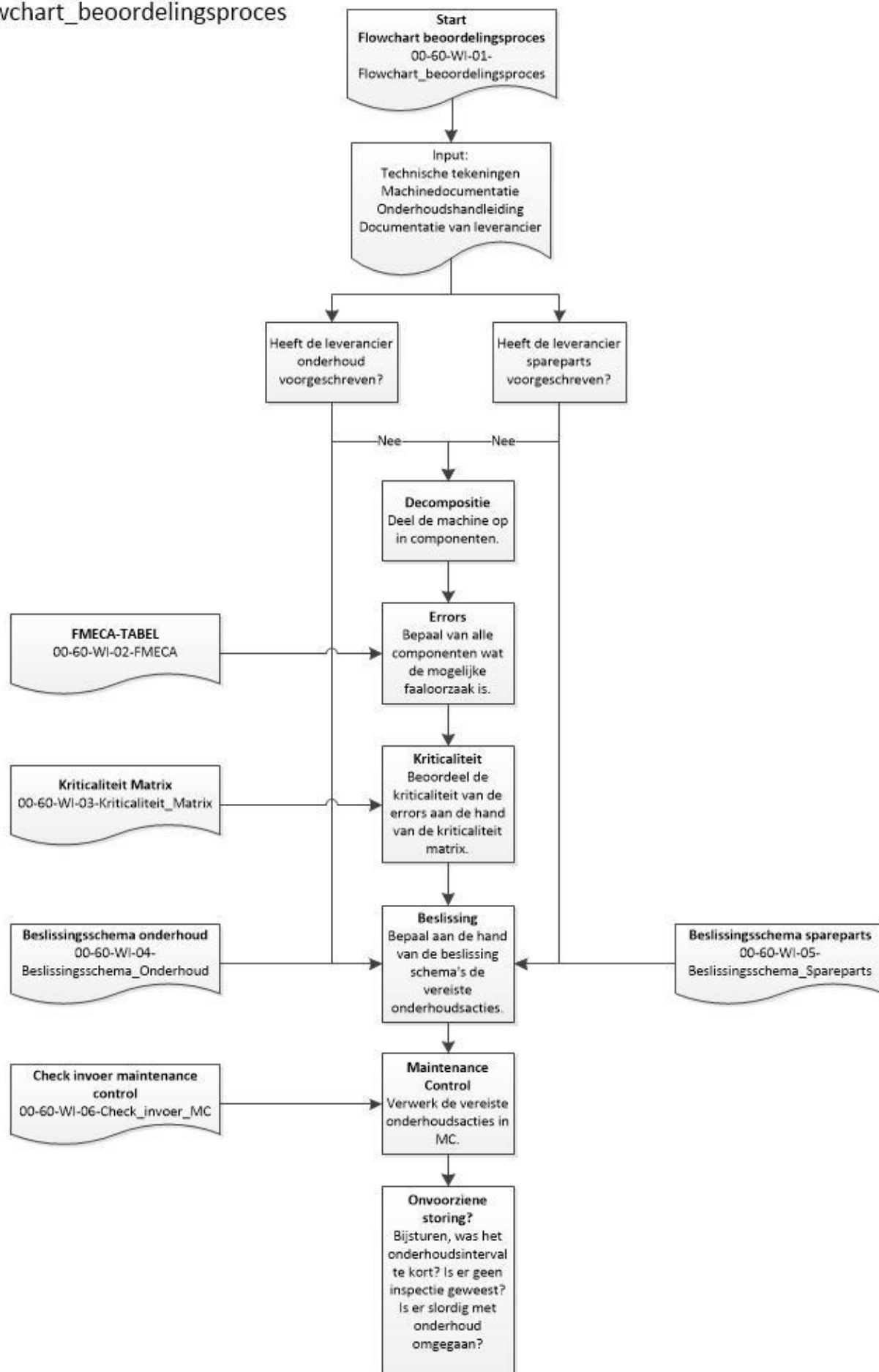
4.1.1 OVERZICHT

Als uitgangspunt is de technische tekening van de nieuwe productielijn aangeleverd vanuit de technische dienst, ofwel de engineering afdeling. Omdat in een later stadium van het project mensen als operators en monteurs ook te maken krijgen met onderhoud is het van belang dat alles voor iedereen duidelijk is. Zij zijn niet allemaal in staat om technische tekeningen te lezen. Dat betekent dat het voor enorm veel onduidelijkheid zal zorgen. Daarnaast is het voor de communicatie van cruciaal belang dat alle coderingen kloppen.

Tot slot is het procesflow schema een handige tool voor het vaststellen van het functieverlies. Hierover later meer. Er is gekozen voor het maken van een procesflowschema (bijlage 8. PROCESFLOWSCHEMA TOTAAL). Belangrijke redenen voor het procesflowschema zijn:

- **Opheldering:** Gemakkelijk af te lezen. Iedereen zonder technische kennis kan procesflowschema's lezen. Over het algemeen staat de eerste machine (soms start genoemd) links bovenin het schema. De daarop volgende machine is de tweede in de productielijn enz.
- **Communicatie:** Codering van de machines is helder.
- **Tool m.b.t. functieverlies:** Verbinding van machines, parallel of serie.

00-60-WI-01-
Flowchart_beoordelingsproces



4.1.2 DECOMPOSITIE

De tweede stap in de analyse is de decompositie. De decompositie-fase wil zeggen dat alle machines individueel worden opgesplitst. Per machine wordt het functieverlies bij uitvallen bepaald en alle componenten met onderliggende sub-componenten opgesomd. Voor het vetproces is een apart procesflowschema opgesteld omdat dit een ingewikkeld en uitgebreid proces is (zie bijlage: 9. PROCESFLOWSHEMA VETPROCES).

De benodigde informatie voor decompositie wordt verkregen uit technische tekeningen. Als de decompositie (bijlage 10. FMECA BAND ALGMEEN. Kolom 1 t/m 4.) gemaakt is kan verder gegaan worden met stap 3, Errors.

Wanneer een machine ingekocht wordt, zal de beschikbare informatie beperkt zijn. Dit geldt zeker wanneer de productielijn nog opgebouwd moet worden. In dat geval zal men het voorgeschreven onderhoud van de producent moeten hanteren en verder gaan met stap 5, Onderhoudsbehoefte.

Grote struikelblokken bij deze fase in de analyse zijn:

- Verouderde tekeningen; sommige tekeningen zijn bijna 30 jaar oud. Machines zijn ondertussen enorm veranderd zonder dat de tekeningen bijgewerkt zijn. Ofwel, tekeningen zijn **niet up-to-date**.
- Documentatie van ingekochte machines. Leveranciers geven geen compleet tekeningenpakket weg. Zij geven hooguit een exploded-view met een handleiding van de machine. Daarbij schrijven ze de handleiding pas het liefst wanneer dat de machine al één maand in productie is. Met andere woorden: **tekort komen van informatie**.

4.1.3 ERRORS

Errors is een beknopte omschrijving voor het bepalen van faalvormen, de frequentie en het effect hiervan. In deze fase draait het vooral om risico inschatting en ervaring. De afstudeerder bepaalt voor alle machines en voor ieder component mogelijke faalvormen met bijbehorende effecten en frequenties. Deze zullen in overleg met monteurs, technische dienst en TPM besproken worden. Zo'n overleg ziet er als volgt uit: de afstudeerder geeft op een beamer de onderdelen weer met de daarna toegevoegde faalvormen. De aanwezigen vanuit Bolsius beoordelen of dit correct en compleet is. Vervolgens voegen zij daar de frequentie aan toe. Hierbij zullen discussies ontstaan waardoor de gegevens goed overwogen verkregen zijn.

In de FMECA-tabel zijn dit de kolommen: faaloorzaak, faalvorm, conditie, MTTF, eenheid MTTF & functieverlies (bijlage 10. FMECA BAND ALGMEEN. Kolom 5 t/m 10). Het grote nadeel van de input in deze fase is, dat het getallen zijn die berusten op:

- Risico inschatting
- Praktijkervaring

4.1.4 KRITICALITEIT

Om de 'onnauwkeurige' input vanuit de vorige fase om te zetten in nuttige informatie wordt er doormiddel van een kriticaliteit matrix een score aan toegekend.

De kriticaliteit matrix is een matrix opgesteld door het management van Bolsius (bijlage 3. FMECA & KRITICALITEIT MATRIX). De kriticaliteit matrix geeft op basis van kans x effect een risicoscore. Wanneer deze score in een rood vlak valt dient er door middel van een bepaalde onderhoudsstrategie een verschuiving richting het witte gebied te ontstaan. Men kan dus stellen dat in deze fase de kritische onderdelen bepaald worden. (bijlage 10. FMECA BAND ALGMEEN. Kolom 11 t/m 15.)

4.1.5 ONDERHOUDSBEHOEFTE

Op basis van de vastgestelde kritische onderdelen in de vorige fase dient een onderhoudsstrategie bepaald te worden. Daarnaast zal gekeken moeten worden of onderdelen op voorraad moeten liggen of niet. Dit gebeurt met behulp van twee documenten:

- Beslissings-schema onderhoudsconcept
- Beslissings-schema spareparts

Beide documenten waren verouderd en bevatten discutabele punten of waren incompleet. Daarom zijn beide document herzien en zijn ze terug te vinden in paragraaf 4.2. Beslissings-schema's. De uitkomsten van de beide schema's zie bijlage 10. FMECA BAND ALGMEEN. Kolom 16 t/m 25.

4.1.6 CONTROLEREN & BEHEREN

Nadat in voorgaande stappen de onderhoudsbehoefte nauwkeurig bepaald is, is het zaak dat deze uitgevoerd kan worden. De onderhoudsbehoefte is ingevoerd in het softwareprogramma Maintenance Control. Er staat in:

- Wie de taak uitvoert (1^e, 2^e of 3^e lijns).
- Benodigd materiaal
- Interval van de onderhoudsactie
- Materiaal- en personeelskosten

Met al deze gegevens wordt direct duidelijk wat het onderhoud gaat kosten. Dit is gemakkelijk per machine, per onderdeel of per jaar op te vragen.

Het voordeel van dit softwareprogramma is dat alles automatisch ingepland wordt. Dus men hoeft alleen maar de order (onderhoudsactie) en het interval in te voeren en het systeem plant vooruit. Zo zal het programma er ook voor zorgen, dat wanneer er in de zelfde week meerdere onderhoudsacties voor verschillende machines vereist zijn, deze samen gevoegd worden op één order.

Het systeem geeft een melding wanneer materiaal besteld moet worden. Afhankelijk van de levertijd van het materiaal zal het systeem een melding voor bestelling eerder of later afgeven.

Uiteindelijk resulteert het onderhoudsprogramma in het kunnen beheren en corrigeren van de onderhoudsbehoefte. Zo is in het programma van eisen onder meer vastgesteld dat 80% van het onderhoud uit voorziene kosten bestaat. De

overige, onvoorziene kosten, worden met behulp van MC naar verwachting ieder jaar lager. Wanneer men namelijk het systeem goed onderhoud zal blijken of de onderhoudsintervallen correct zijn of dat ze bijgesteld moeten worden.

Het enige verbeterpunt aan het programma is dat er gewerkt moet worden aan het monitoren van de resultaten. Tot op de dag van vandaag is de registratie van metingen, wat betreft de behaalde beschikbaarheid, helaas erg beperkt. Dit is een tijdrovende klus en moet als los project aangepakt worden.

4.2. BESLISSINGS-SCHEMA'S

4.2.1 ONDERHOUDSTRATEGIE

Belangrijk is dat duidelijk wordt welke strategie toegepast moet worden en wie het moet doen.

Vragen die het huidige model oproepen zijn (bijlage 11 BESLISSINGSCHEMA ONDERHOUDCONCEPT – OUD):

- Wat is het verschil tussen autonoom en preventief onderhoud?
- Is de opsplitsing van autonoom en preventief onderhoud hetzelfde als TAO en GAO?
- Is de opsplitsing van autonoom en preventief onderhoud hetzelfde als een 1^e of 2^e lijns onderhoudsactie? En waarom staat nergens 3^e lijns?
- Wanneer een component niet vervuild, niet slijt, geen smering behoeft, niet lostrilt en geen mogelijkheid tot back-up heeft, hoeft er volgens de tabel niks te gebeuren. Denk bijvoorbeeld aan afschermkappen. Valt onder geen van de stappen maar is enorm belangrijk voor de veiligheid. -> toevoegen veiligheidsaspect.
- Waarom komen niet alle onderdelen die nergens onder vallen automatisch op SAO? Nu is er een open einde.

Deze vragen ten aanzien van het huidige model zorgen ervoor dat de analyse niet transparant is en gevoelig is voor eigen interpretatie. Dit moet voorkomen worden. Er dient een onderhoudsbehoefte opgesteld te worden, die gebaseerd op feiten en niet afhankelijk is van de kennis van degene die met de tabel werkt.

Daarom zijn de volgende punten aangepast (bijlage 12 BESLISSINGSCHEMA ONDERHOUDCONCEPT – NIEUW):

- Het veiligheidsaspect helemaal vooraan het schema.
- Het is duidelijk wie de onderhoudsactie moet uitvoeren:
 - 1^e lijns: operator
 - 2^e lijns: monteur
 - 3^e lijns: specialist
- Het is duidelijk welke onderhoud strategie toegepast wordt:
 - TAO: preventief onderhoud op basis van een meting.
 - GAO: preventief onderhoud op basis van visuele inspectie.
 - SAO: onderhoud naar aanleiding van een storing.
- Alles eindigt in SAO.

4.2.2 SPAREPARTS

Net als bij het onderhoudsconcept moeten ook de spareparts zonder mogelijkheid tot eigen interpretatie (gevoel of hoeveelheid ervaring) gedefinieerd worden. Het huidige beslissingsschema (bijlage 13 BESLISSINGSCHEMA SPARE PARTS – OUD) mist een aantal punten; veiligheid, levertijden, standaard voorraad leverancier (wel/niet), identieke onderdelen en kostprijs.

In het nieuwe beslissingsschema zijn 3 schaalverdelingen toegevoegd, die allen onderdelen betreffen waarbij de degradatie niet zichtbaar is.

De eerste schaalverdeling is het aantal identieke onderdelen. Wanneer het aantal identieke onderdelen in de fabriek (in eerste instantie alleen in lijn 8) hoger is dan 10, dan zal het onderdeel direct op voorraad worden genomen. Dit besluit is tijdens een bespreking genomen en als volgt te onderbouwen. Stel er zijn 15 identieke onderdelen die gemiddeld genomen eens in de 15 jaar defect gaan. Gebaseerd op de kriticaliteit matrix is dat acceptabel en zullen er dus geen inspecties gedaan worden. Maar als je alle onderdelen samen bekijkt, zal de gemiddelde netto tijd tot het defect gaan, 1 jaar ($15/15=1$) zijn. In dat geval is het wel belangrijk om onderhoudshandelingen te doen. In dit geval zullen de inspectiekosten niet opwegen tegen de kosten van de onvoorziene stilstand als het onderdeel gewoon op voorraad ligt. Een duidelijk voorbeeld zijn de lagers in een elektromotor. Er zitten ongeveer 30 dezelfde elektromotoren in alle transportbanden. Uit ervaring blijkt dat de lagers meestal meer dan 5 jaar mee gaan. Als men alle lagers van alle motoren iedere 2 jaar moet inspecteren en reinigen kost het enorm veel geld, dat niet in verhouding staat met het op voorraad nemen van een vervangende motor.

De tweede schaalverdeling gaat over de onderdelen waarvan dus minder dan 10 identieke onderdelen in de fabriek aanwezig zijn en de degradatie niet zichtbaar is. De vraag is dan binnen welk termijn het artikel geleverd kan worden. In de kriticaliteit matrix wordt een stop van 12 uur altijd geaccepteerd. Daarom is in deze schaalverdeling gekozen om alles wat binnen 12 uur geleverd kan worden te onderscheiden van de rest.

Omdat de derde schaalverdeling lastig theoretische te onderbouwen is, is deze vanuit een discussie tot stand gekomen. In de kriticaliteit matrix staat dat alle kosten tot €500,00, onafhankelijk van het interval, getolereerd worden. Maar omdat de kosten per uur stilstand onbekend zijn en daarom niet meegenomen worden in de totale kosten zou het logisch zijn om alle onderdelen tot €500,00 op voorraad te nemen. Dit zou resulteren in een voorraad met een hoge 'dode' waarde. Daarom heeft men besloten om alle onderdelen, die binnen 12 uur geleverd kunnen worden en minder kosten dan €300,00, op voorraad te nemen. Dit zal de 'dode' waarde van de voorraad reduceren. Daarnaast is het niet lonend om voor een relatief goedkoop artikel een spoedtaxi van €100,00 te laten rijden. In bijlage 14. BESLISSINGSCHEMA SPARE PARTS – NIEUW, staat toegelicht hoe dit bedrag tot stand is gekomen. Voor artikelen die een levertijd hebben van meer dan 12 uur geldt dat ze onder de €400,00 op voorraad moeten liggen. Het verschil van €100,00 zit hem in de kosten voor de spoedtaxi.

Een interessant voorbeeld is een operation panel (een beeldscherm, te vergelijken met een televisie scherm thuis). In productielijn 8 zijn twee zo'n onderdelen aanwezig. De kostprijs van het onderdeel is €4000,- en degradatie is niet zichtbaar. Dan zal er onafhankelijk van de levertijd besloten worden dat het artikel niet op voorraad hoeft te liggen. Als er nou in de hele fabriek 20 dezelfde schermen zitten wordt er een andere beslissing gemaakt. Op basis van het aantal identieke onderdelen zal besloten worden dat het onderdeel op voorraad genomen moet worden.

In het nieuwe model zitten alle andere aspecten verwerkt. (bijlage14. BESLISSINGSCHEMA SPARE PARTS – NIEUW).

4.3 LEVERANCIERS

Bolsius heeft veel leveranciers. Bijvoorbeeld de leveranciers van elektromotoren, zoals onder meer Nodema, Rotor, Lenze, Van Steen, SEW eurodrive, Groschopp, Verhagen, Elsto, Axis, Eriks. Op dit moment liggen veel elektromotoren op voorraad, waarvan lastig te achterhalen is waar de motor vandaan komt. Bij storingen verloopt de communicatie langzaam. Het is daarom wenselijk om alle motoren bij één leverancier te kunnen bestellen. Voor de nieuwe productielijn is besloten alle elektromotoren door SEW te laten leveren. Zij kunnen alle motoren binnen 3 dagen leveren ongeacht of deze standaard zijn of niet. Er zal een lijst komen waarop alle elektromotoren met artikel code van Bolsius komt te staan. SEW zal voor iedere motor een alternatief aanbieden. Hieraan geven zij hun eigen artikelnummer met de bijbehorende prijs en of deze standaard op voorraad ligt of niet. Jaarlijks zal dan gecontroleerd moeten worden of de lijsten nog compleet zijn. Als dit systeem gehandhaafd wordt kan er bij storingen direct gebeld worden met SEW en wordt er geen onnodige tijd besteed aan het opzoeken van artikelnummers. Verder is het prettiger communiceren met één leverancier i.p.v. 10+.

Een voorbeeld van de genoemde lijst is de levering van elektro onderdelen door Schuurmans. (bijlage 15. ELEKTRO ONDERDELEN SCHUURMANS). Hierin staat de artikel code van Bolsius, de artikelcode van Schuurmans, de bijbehorende prijs, de levertijd en of het standaard op voorraad ligt of niet. Hiermee is er dus altijd duidelijkheid voor beide partijen en daarnaast is het een goede basis voor het bepalen van voorraad delen.

4.4. HET EFFECT VAN MAINTENANCE CONTROL

Tot zo ver heeft de afstudeerder grotendeels richtlijnen opgesteld voor het bepalen van de juiste onderhoud strategieën en voorraad onderdelen. Dus het bepalen van faaloorzaken, deze beoordelen en het maken van beslissing schema's. Dit allemaal om uiteindelijk het doel van 98% beschikbaarheid en minimale kosten van 3% van de aanschafwaarde per jaar te realiseren. Om dit allemaal te monitoren is er een onderhoudsprogramma. Hierin zijn alle gegevens en conclusies verwerkt. In bijlage: 5. MAINTENANCE CONTROL staat in detail uitgelegd hoe de onderhoudsregels opgemaakt zijn, hoe deze verwerkt worden in de planning en hoe het materiaal gekoppeld kan worden.

Met gebruik van Maintenance Control kan men het volgende realiseren:

- Onderhoudstaken aanmaken

Men kan onderhoudstaken aanmaken, met daar in de onderhoudsacties en strategie. Daarnaast komt er een beknopte beschrijving in te staan. Er kan eventueel een WI (werkinstructie) aan toegevoegd worden, zodat het voor iedereen, ook voor waarnemend personeel, duidelijk is wat te doen. Ook wordt beschreven of het onderhoud wordt gedaan tijdens stilstand of het in bedrijf zijn, wie de taak moet uitvoeren en hoeveel tijd het onderhoud kost. Dit zorgt voor duidelijkheid en zal fouten, dus langere stilstanden, voorkomen.

- Bijsturen van de onderhoudstermijnen

Aan de onderhoudstaken is toegevoegd op welk termijn ze moeten worden uitgevoerd. Dit is in het proces gebeurd op basis van ervaring en risico inschatting (zie 4.1.3 Errors). Het grote voordeel van MC is dat je dit achteraf bij kan sturen. Zo kan men, wanneer bijvoorbeeld geconstateerd wordt dat lagers altijd te vroeg vervangen worden, het interval verkorten en op die manier leren van voorafgaande fouten.

- Optimaliseren van de planning

Omdat in de onderhoudstaken aangegeven is hoe lang een werknemer bezig is met een onderhoudsactie, kan het programma uitrekenen hoeveel tijd er iedere week nodig is voor het geplande onderhoud. Zo kan een planner bijsturen als er bijvoorbeeld voor de werkzaamheden in week A veel meer tijd nodig is als voor de werkzaamheden in week B. Als er te weinig personeel is ingepland, kan er tijdig extern personeel ingehuurd worden.

- Toevoegen van materialen; gemakkelijk bij te bestellen en noodzakelijk bij storing

Materialen worden gekoppeld aan machines. Dit betreft alle materialen die potentieel gezien defect zouden kunnen gaan. Dat zijn bijvoorbeeld alle slijtbare en reserve onderdelen. Dat geldt niet voor het frame en bevestigingsmaterialen. Deze gaan in principe levenslang mee en zullen alleen door menselijk falen eerder defect gaan. Het voordeel van de koppeling van materialen aan de machines is dat bij storingen of defecten gemakkelijk gekeken kan worden wat er besteld moet worden en bij wie.

- Voorraad minimaliseren

Omdat bepaald is wanneer iets vervangen moet worden, Wordt het onderdeel ook kort van te voren besteld. Dit betekent dat onderdelen niet onnodig lang in het magazijn van Bolsius hoeven te liggen. Het onderhoudsprogramma zal 6 weken voordat een onderdeel besteld moet worden, automatisch een order aanmaken waarna onderdelen besteld kunnen worden.

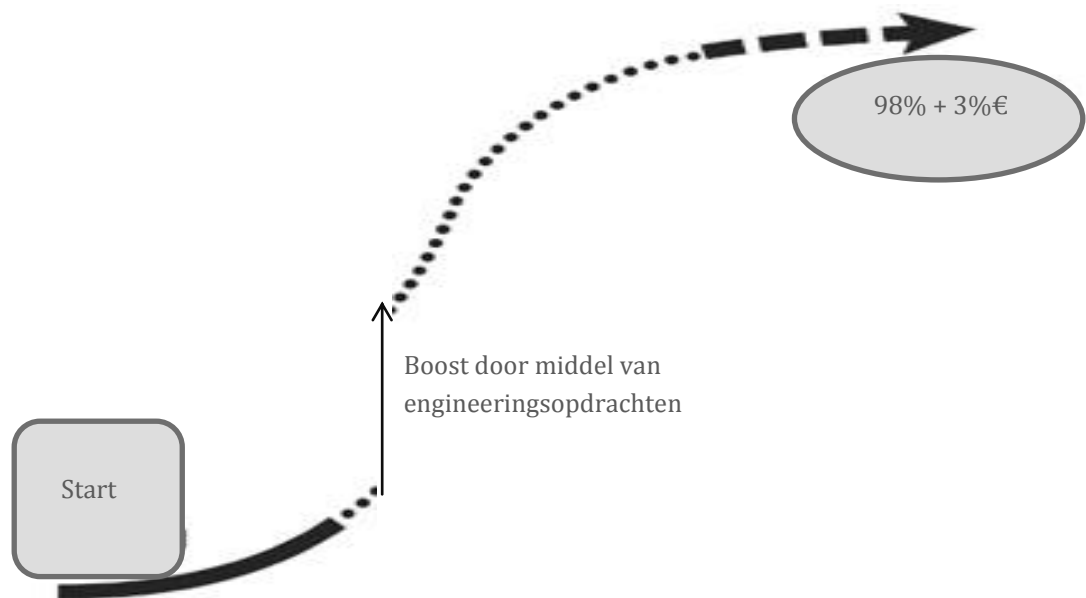
- Stilstanden minimaliseren

Doordat nauwkeurig bepaald is wanneer welk onderhoud gedaan moeten worden en dit ook geregistreerd staat in een programma, zal het gemakkelijker zijn om alles op tijd te vervangen. Te vroeg vervangen kost natuurlijk ook geld.

Maar dit zal niet opwegen tegen de kosten van stilstand vanwege onvoorziene storingen. Op tijd vervangen resulteert in minder stilstanden. In de loop van de tijd zullen de tijdsintervallen worden bijgestuurd, waardoor zo lang mogelijk wordt gewerkt met het onderdeel voor deze vervangen wordt.

→ Learning curve

Het belangrijkste van het programma is dat deze op de juiste manier wordt ingericht en vervolgens goed wordt onderhouden. Als dat gebeurt zal er een learning curve ontstaan. Door het steeds bijstellen van de onderhoudsacties zal de voorspelling steeds dichterbij de werkelijkheid komen. De werkelijkheid is in dit geval een beschikbaarheid van minimaal 98% en maximaal 3% van de aanschafwaarde aan onderhoudskosten per jaar. Omdat dit misschien niet haalbaar is met alleen onderhoud zullen er engineeringsoopdrachten uitgevoerd moeten worden om dit proces te boosten.



FIGUUR 4 LEARNING CURVE MET BEHULP VAN MC

5. MECHANICAL PROJECT

5.1 DE ANALYSE

In de probleemstelling wordt aangegeven dat de onderhoudsbehoefte en spareparts bepaald moeten worden alvorens te kunnen streven naar een beschikbaarheid van 98% en gewenste maximale kosten van 3% van de aanschafwaarde per jaar. Dit doel is niet haalbaar met alleen correct gepland onderhoud en nauwkeurig geselecteerde reservedelen. Er zullen ook engineeringsoopdrachten uitgevoerd moeten worden.

In deze engineeringsoopdracht wordt de huidige aandrijving herzien met als doel de onderhoudskosten te verlagen. In de opdracht omschrijving wordt gesteld dat het huidige model achterhaald en onderhoudsgevoelig is. Dit wordt gesteld door de technische dienst en ondersteund door 20 jaar ervaring met de huidige

aandrijving. De technisch monteurs geven aan dat de huidige constructie enorm veel onderhoud nodig heeft. Dit betekent dat er financiële- en tijds winst gemaakt kan worden.

Bovenstaande analyse is hoofdzakelijk gebaseerd op meningen en ervaringen van personeel. Het probleem kan echter ook door feiten worden aangetoond aan de hand van een FMECA. In bijlage: 10. FMECA BAND ALGEMEEN staat de FMECA tabel van de huidige aandrijving ingevuld. Hieruit kan worden geconcludeerd dat dit, met name op het gebied van onderhoud, een kostbare constructie is.

Een rekensom:

Onderhoudsbehoefte ketting:

- Ketting smeren, iedere 3 maanden, 3 min.
- Checken ketting spanning en eventueel spannen, iedere week, 2 min.
- Ketting vervangen, iedere 4 jaar, 15 min.

Onderhoudsbehoefte kettingwielen:

- Controleren op speling/slijtage, iedere 3 maanden, 1 min.
- Schoonmaken/smeren, iedere 3 maanden, 5 min.

Tijd voor onderhoud per jaar: 142,75 min = 2,38 uur

Arbeidskosten: €50/uur

Onderhoudskosten per jaar: **€118,96**

Bovenstaande onderhoudskosten zijn per band per jaar. Er zitten ongeveer 35 transportbanden in de productielijn. Dit komt op een bedrag van ruim €4100 per jaar onderhoudskosten. Hierbij is alleen rekening gehouden met loonkosten voor het onderhoud van de kettingoverbrenging. Dus exclusief de materiaalkosten van bijvoorbeeld smering en vervangende onderdelen.

5.2 HUIDIGE ONTWERP

5.2.1 CONSTRUCTIE

Gegevens van de componenten:

Elektromotor

Leverancier	Rotor
Type	5RN71M
Vermogen	0,37kW
Aantal polen	4
Nominaal toerental	1500 rpm
Spanning	230/400V

Vertragskast

Leverancier	Rossi
Type	MR31 40 PC1A IEC 71B5
Overbrengingsverhouding	15,2

<u>Prijs elektromotor + vertragskast</u>	<u>€351,51</u>
--	----------------

Band

Leverancier	Rexnord
Type	LF880TABK325
Prijs	€24,12/m

Kettingwiel

Leverancier	Köbo
Type	16B-1
Aantal tanden	19
Prijs	€2,99

Aandrijfketting

Leverancier	Rexnord
Type	HET 08B-1
Maat	½"
Prijs	€24,37/5m

5.2.2 VOORONDERZOEKElektromotoren

In een onderzoek van Kolmer elektromotoren BV⁶ in mei 2015 is onderzoek gedaan naar o.a. de kosten van een elektromotor. In bijlage: 16. UIKOMSTEN ONDERZOEK KOLMER zijn de resultaten weergegeven. In het onderzoek is gebruik gemaakt van een 4-polige (1500rpm) 7,5kW elektromotor. De hoofdvraag was wat het aandeel van de energiekosten zijn in de "Total Cost of Ownership" (T.C.O.) → de totale kosten van de elektromotor tijdens zijn levensduur.

Aan de hand van deze figuur zou men kunnen stellen dat het rendabel is om een elektromotor met een hoger rendement aan te schaffen. De vraag is echter of de hogere aanschafwaarde opweegt tegen de energie besparing.

Vertragingskast

Een vertragingskast, ook wel tandwielkast, is één of meerdere op elkaar volgende tandwieloverbrengingen met als doel het toerental te reduceren en het koppel te vergroten.

Het rendement van vertragingskast is gebaseerd op de vermogensverliezen ontstaan door⁷:

- Rolglijden van tandflanken η_z
- Lager wrijving η_L
- Asafdichtingen η_D

Het totale rendement van de vertragingskast wordt daarmee:

$$\eta_{tot} = \eta_z \times \eta_L \times \eta_D$$

Voor η_z geldt:

Rechte tanden	η_z tot 0,99
Kegeltandwielen	η_z tot 0,98

⁶ <http://www.kolmer.nl/wp-content/themes/kolmer/img/pdf/brochures/Nieuwe%20rendementsindelingen.pdf>

⁷ Roloff/Matek Machineonderdelen 5^e druk – Theorieboek; 20.4 Overbrengingsrendement.

Schroefwieloverbrenging	$\eta_z \approx 0,50 \dots 0,95$
Wormoverbrenging	$\eta_z \approx 0,20 \dots 0,97$

→ Een verdragingskast met een **schroefwiel- of wormoverbrenging vermijden**.

Lagering van een as met twee wentellagers: $\eta_L \approx 0,99$

Afdichting van een as inclusief smering: $\eta_D \approx 0,98$

→ Wanneer mogelijk een verdragingskast met een **1-traps** verdraging kiezen. Dit betekent maar 2 assen. Per gelagerde as met afdichting en smering geldt:

$$= \eta_L \times \eta_D = 0,99 \times 0,98 = 0,9702$$

Altijd minstens 2 assen, dus; $0,9702^2 = 0,9412$. Wanneer een 2-traps verdraging gekozen wordt zal dit dus $0,9702^3 = 0,9132$ zijn, enz.

5.2.3 BEREKENING

Draaibare uren per jaar

Productie is iedere week zondag 21:30 – vrijdag 21:30 → 120 uur / week.
50 weken per jaar productief in continu bedrijf, alleen bij uitzondering starten en stoppen.

Gestreefde beschikbaarheid van 98%

$$t = 120 \times 50 \times 0,98 = 5880 \text{ uur / jaar}$$

Maximale belasting band

Maximale lengte⁸: $l = 25 \text{ m}$.

Maximaal aantal potjes per meter: $X_p = 20 \text{ potjes / meter}$.

Maximaal gewicht potje: $M_p = 0,4 \text{ kg / potje}$.

Gewicht band per meter⁸: $M_b = 0,9 \text{ kg / meter}$.

Valversnelling: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_N = (X_p \times M_p + M_b) \times l \times g = (20 \times 0,4 + 0,9) \times 25 \times 9,81 = 2182,73 \text{ N}$$

Wrijvingskracht

Wrijvingscoëfficiënt⁸: $C_w = 0,2$

$$F_{wr} = F_N \times C_w = 2182,73 \times 0,2 = 436,54 \text{ N}$$

Benodigd koppel aandrijf

Band wordt als ketting beschouwd: $\eta_b = 96\%$ ⁹.

Diameter aandrijfrol: $D = 80 \text{ mm}$

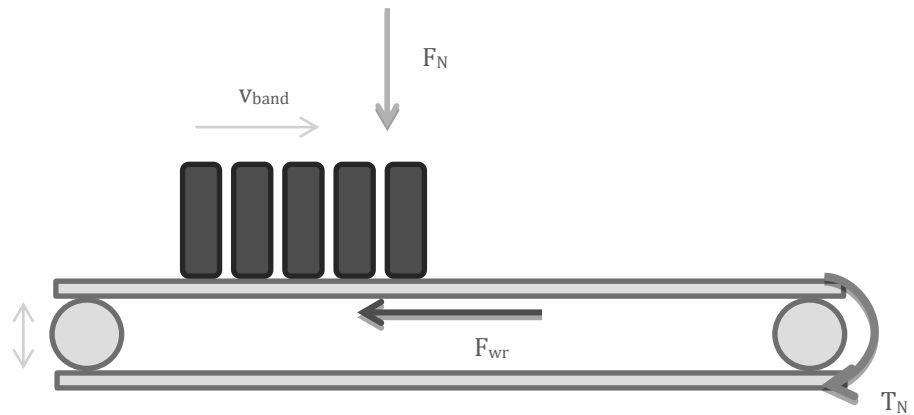
Bedrijfsfactor¹⁰: $K = 1,1$

$$T_N = F_{wr} \times \frac{D}{2} \times K = 436,545 \times \frac{0,08}{2} \times 1,1 = 19,21 \text{ Nm}$$

⁸ Volgens Engineerings Manual van Rexnord

⁹ Volgens Engineerings Manual van SEW

¹⁰ Volgens Roloff/Matek Machine onderdelen 5^e druk Tabel 3-5a



FIGUUR 5 SITUATIESCHETS KRACHTEN TRANSPORTBAND

Elektromotor

Vermogen: $P_m = 0,37 \text{ kW}$

Toerental: $n = 1500 \text{ min}^{-1}$

$$T_{motor} = \frac{P_m}{\omega} = \frac{370}{157} = 2,35 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} = \frac{2\pi \times 1500}{60} = 157 \frac{\text{rad}}{\text{sec}}$$

Vertragingskast

Overbrengingsverhouding: $i = 15,2$

Rendement¹¹: $\eta_v = 94\%$.

$$T_{uit} = T_{motor} \times i \times \eta_v = 2,35 \times 15,2 \times 0,94 = 33,58 \text{ Nm}$$

Maximale koppel aandrijfrol

Rendement kettingoverbrenging: $\eta_{ovb} = 96\%$.

$$T_{rol.max} = T_{uit} \times \eta_{ovb} = 33,58 \times 0,96 = 32,23 \text{ Nm}$$

Dat betekent dat het maximale koppel dat de motor aan de aandrijfrol kan leveren 32,23 Nm is. Het maximaal benodigde koppel is 19,21 Nm.

Motor bedrijf

$$\text{Motorbelasting [\%]} = \frac{T_N}{T_{rol.max}} \times 100\% = \frac{19,21}{32,23} \times 100\% = 60\%$$

Benodigd vermogen

$$P_{nodig} = P_{motor} \times 60\% = 0,37 \times 0,6 = 0,22 \text{ kW}$$

Verbruikt vermogen

Rendement elektromotor¹²: $\eta_e = 65\%$.

Prijs 1 kWh: $X_e = 0,2 \text{ €/kWh}$

$$E = \frac{P_{nodig}}{\eta_e} \times t = \frac{0,22}{0,65} \times 5880 = 1990 \text{ kWh}$$

¹¹ Volgens leverancier, Rossi.

¹² Volgens leverancier, Rotor NL.

$$\rightarrow \text{Energiekosten} = X_e \times E = \text{€}398,-/\text{jaar}$$

Bovenstaand jaarbedrag is per transportband, voor alle transportbanden in de nieuwe productielijn (± 35) komt dit op een totaalbedrag van bijna **€14.000,-**. In de berekening is rekening gehouden met fulltime productie onder maximale belasting.

5.3 CONCEPTFASE

Morfologisch overzicht (zie bijlage: 17. CONCEPTFASE)

De deelfuncties van de aandrijving zijn;

- Aandrijving
 - Hieronder verstaat men de wijze van aandrijven of het soort motor dat gebruikt wordt.
- Vertraging
 - Omdat de uitgangssnelheid van de motor 1500min^{-1} is, is er een vertragsingskast nodig. Daarnaast is het uitgangskoppel van de motor niet groot genoeg.
- Overbrenging
 - De overbrenging is het wijze waarop de rotatie van uit de vertragsingskast overgebracht wordt op de aandrijfrol.

5.3.1 CONCEPTEN

Er zijn 5 concepten bedacht aan de hand van het morfologisch overzicht. Alle vijf zijn kort toegelicht in bijlage: 17 CONCEPTFASE.

5.3.2 COMPONENTEN

Wat betreft de componenten zijn er twee onderdelen die belangrijk zijn; de elektromotor en de reductiekast. Om hier meer informatie over te verkrijgen is er vooronderzoek gedaan. In paragraaf 5.2 Huidige ontwerp (5.2.2 vooronderzoek), blijkt dat het rendement van de vertragsingskast afhankelijk is van het soort vertandingen en het aantal tandwielparen. Wat betreft de elektromotor is al duidelijk dat een aanzienlijk groot deel van de kosten uit energiekosten bestaan.

Om extra duidelijkheid te krijgen is een leverancier van Bolsius uitgenodigd, SEW eurodrive. Belangrijke informatie uit het overleg zijn puntsgewijs:

- Een wormwieloverbrenging wordt aangeschaft vanwege de lage aanschafkosten.
- Over het algemeen valt er, onder andere door bovenstaande redenen, het meest te verdienen met de juiste keuze vertragsingskast.
- IE4 motoren onder de 0,75kW worden eigenlijk nooit gebruikt omdat deze niet verplicht zijn door de Europese regelgeving.¹³
- IE4 motoren onder de 0,75kW zijn alleen verkrijgbaar met de LSPM technologie (zie bijlage: 18 LSPM TECHNOLOGY) Deze zijn aanzienlijk duurder dan de normale IE4 motoren.

¹³ https://master.sew-eurodrive.com/media/sew_eurodrive/pdf/produkte_1/motoren_1/en_1/areas-of-application-ac-motors-en.pdf

De meeting met SEW was informatief op gebied van de elektromotoren. En heeft tot onderstaande vergelijking geleid. Voor datasheets van motoren zie bijlage 20. MOTOREN.

TABEL 1 OVERZICHT VERGELIJKING MOTOREN

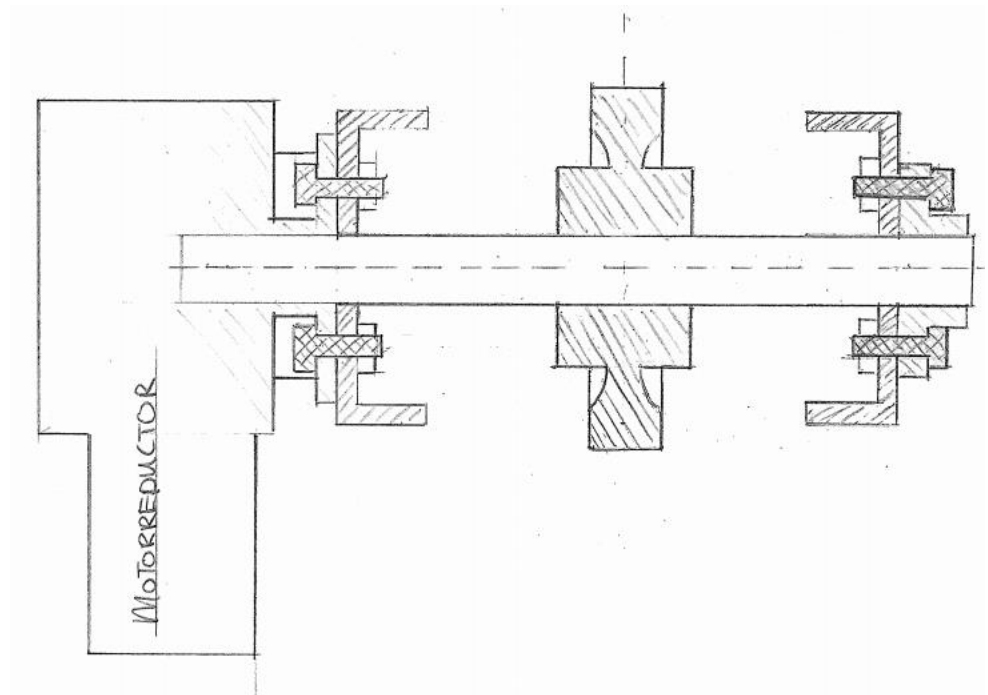
Beschrijving	IE1: DRS71S4/FE	IE3: DRP71SJ4/FE	IE4: DRU71MJ4/FE	Opmerking
Rated motor speed [1/min]	1380	1500	1500	
Output shaft [mm]	14x30	14x30	14x30	
Motor power [kW]	0,37	0,37	0,37	
Efficiency (50/75/100 % Pn)	59,1/65,3/66,6	74,5/78,4/78,8	80,1/83,5/84,2	IE3 & IE4 hebben een lager rendement-verlies bij lagere belastingen.
Overige	Ongeveer gelijk aan huidige.	Niet standaard. Want normaal geen IE3 motoren onder 0,75kW Is een uitlopend product.	Hoge investeringskosten. I.v.m. LSPM technologie.	

Vanuit Bolsius is er een gewenste samenwerking met SEW eurodrives. Zij kunnen namelijk binnen 3 dagen alle gewenste motoren leveren. Daarnaast heeft Bolsius op dit moment meer dan 10 verschillende soorten elektromotoren in één productielijn zitten. SEW is een voldoende groot bedrijf dat voor alle elektromotoren een alternatief kan bieden. Hierdoor zal Bolsius terug kunnen naar één leverancier voor alle elektromotoren. Natuurlijk speelt de jarenlange prettige samenwerking een belangrijke rol in de keuze voor SEW als leverancier. In het bovenstaande overzicht zijn de mogelijkheden weergegeven die passen binnen de eisen voor de aandrijving. Let op! Het gaat hier enkel om de motor, dus zonder vertragskast. De IE1 motor is vrijwel hetzelfde als degene die er nu in zit, het rendement zit zelfs een klein stukje hoger. De IE3 motor valt direct af. Dit is geen standaard artikel omdat IE3 motoren pas verplicht zijn vanaf een vermogen van 0,75kW. Hierdoor worden ze dus duurder. IE3 motoren worden bijna niet geproduceerd vanwege het feit dat ze ook een extreem grote inbouw ruimte nodig hebben. De laatste optie is de IE4 motor met een speciale LSPM techniek. Hiermee kunnen extreem hoge rendementen gehaald worden (tot bijna 20% hoger als met de IE1 motor). Het enige nadeel van deze motor is dat er een frequentieregelaar gebruikt moet worden. Dit maakt dat de investeringskosten hoger worden. Daarnaast is de motor zelf ook aanzienlijk duurder doordat er een permanent magneet inzit om de synchrone werking te realiseren en het

rendement te verhogen. De vraag is dus of de besparing met zo'n laag vermogen voldoende is om de hoge investeringskosten terug te verdienen.

5.4 CONCEPT KEUZE

Het gekozen concept is beoordeeld met behulp van de kesselringmethode. Deze is terug te vinden in bijlage: 19. KESSELRINGMETHODE. De verantwoording van de criteria, factoren en bijbehorende schaal verdeling staat hierachter. Het best beoordeelde concept is die met de **motor direct op de aangedreven as door middel van een haakse reductiekast**.

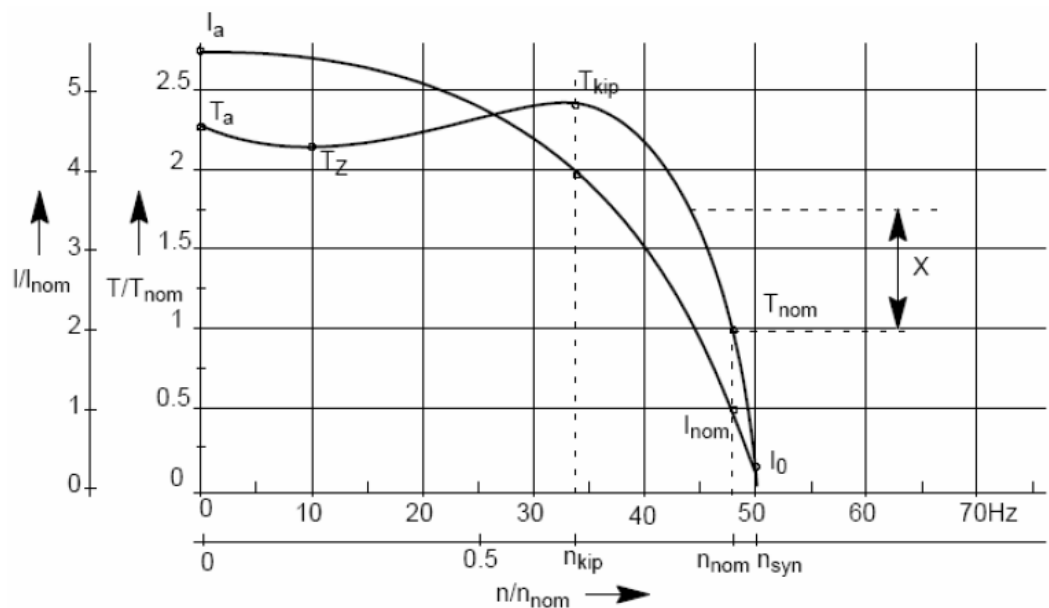


FIGUUR 6 GEKOZEN CONCEPT

5.4.1 UITGEWERKT CONCEPT

Berekeningen

SEW heeft een voorbeeld berekening voor een kettingtransporteur. Deze situatie is vergelijkbaar met de transportbanden in dit geval. De berekening komt overeen met de berekening voorafgaand in het verslag (zie 5.2 Huidige ontwerp berekening). Het enige verschil is dat men bij SEW de helft van het gewicht van de kettingband gebruikt. Wat ze bij SEW wel extra controleren is het aanloopkoppel. Dit mag maximaal 130% van het nominale koppel zijn. Dit is gemakkelijk te verklaren door naar de motorkarakteristiek van een inductie motor te kijken.



FIGUUR 7 KOPPEL-TOEREN KROMMEN INDUCTIEMOTOR¹⁴

Het door SEW vastgestelde maximum van het aanloopkoppel van 130% van het nominale koppel, moet theoretisch makkelijk haalbaar zijn. Kijken we naar de verhouding T/T_{nom} in bovenstaande grafiek, dan is de verhouding bij het aanlopen – ofwel bij het starten van de motor ($n=0$) – ongeveer 2,2. De marge van 130% is dus enorm ruim. Echter zullen we de controle ook voor ons concept maken.

Controle berekening maximaal aanloopkoppel

In tegenstelling tot continue bedrijf, waarbij alleen de wrijving tussen de band en de slijtstrip ontstaat, is er bij de test op maximaal aanloopkoppel nog een extra wrijving. Namelijk bij het aanlopen van de band zou mogelijk helemaal vol kunnen staan met potjes die geblokkeerd worden. Dit is in het meest ongunstige geval. Maar in deze situatie ontstaat er dus een wrijving tussen de potjes en de band.

¹⁴

http://www.windmolensite.be/windmolen_PLC/driefasige%20asynchrone%20motor.pdf

De wrijving tussen de band en de geleide strip wordt veroorzaakt door de helft van het gewicht van de band plus het gewicht van de potjes.

$$\begin{aligned} F_{wr.band-strip} &= \left(\frac{1}{2} \times M_{band} + X_{pot} \times M_{pot} \right) \times L_{band} \times g \times \mu_1 \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 0,9 + 20 \times 0,4 \right) \times 25 \times 9,81 \times 0,2 = 414,5 \text{ N} \end{aligned}$$

De wrijving tussen de potjes en de band ontstaat wanneer de band helemaal vol staat en ergens een storing is. In dit geval loopt de band onder de geblokkeerde potjes door en ontstaat er wrijving.

$$\begin{aligned} F_{wr.band-pot} &= (X_{pot} \times M_{pot}) \times L_{band} \times g \times \mu_2 \\ &= (20 \times 0,4) \times 25 \times 9,81 \times 0,2 = 392,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_{tot} = F_{wr.band-strip} + F_{wr.band-pot} = 414,5 + 392,4 = 806,9 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{F_{tot} \times V_{band}}{\eta_{band} \times \eta_{ovb} \times \eta_{red}} = \frac{806,9 \times \frac{28,2}{60}}{0,9 \times 1 \times 0,94} \\ &= 448,3 \text{ W} \end{aligned}$$

Het extern traagheidsmoment is het traagheidsmoment dat nodig is om het gewicht van de band en de potjes op een bepaalde snelheid te laten bewegen.

$$\begin{aligned} J_x &= 91,2 \times (M_{band} + X_{pot} \times M_{pot}) \times L_{band} \times \left(\frac{v_{band}}{n_M} \right)^2 \\ &= 91,2 \times (0,9 + 20 \times 0,4) \times 25 \\ &\quad \times \left(\frac{\frac{28,2}{60}}{1380} \right)^2 = 0,00235 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \end{aligned}$$

Het lastkoppel is het benodigde koppel voor het continue laten bewegen van het gewicht.

$$M_L = \frac{F_{tot} \times v_{band} \times 9,55}{n_M} = \frac{806,9 \times \frac{28,2}{60} \times 9,55}{1380} = 2,62 \text{ Nm}$$

Het aanloopkoppel is het koppel dat nodig is om het gewicht te laten versnellen. Omdat we een acceleratie snelheid van $0,25 \text{ m/s}^2$ hanteren wordt de aanlooptijd hier 2 sec.

$$\begin{aligned} M_H &= \frac{\left(J_M + \frac{J_x}{\eta_{band} \times \eta_{ovb} \times \eta_{red}} \right) \times n_M}{9,55 \times t_A} + \frac{M_L}{\eta_{band} \times \eta_{ovb} \times \eta_{red}} \\ &= \frac{\left(0,000513 + \frac{0,00235}{0,9 \times 0,94} \right) \times 1380}{9,55 \times 2} + \frac{2,62}{0,9 \times 0,94} = 3,3 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$M_N = \frac{P_N \times 9550}{n_M} = \frac{0,37 \times 9550}{1380} = 2,56 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_H}{M_N} \times 100\% < 130\%$$

$$\frac{3,3}{2,62} \times 100\% = 129,07\% < 130\% \text{ dus oké}$$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat een inductiemotor met **0,37kW** geschikt is voor deze constructie.

Over-gedimensioneerd

De elektromotor is enorm over-gedimensioneerd. En dat is ook een logisch gevolg van de zeer sterk afwijkende situaties. In het excel spreadsheet dat is weergegeven in bijlage 21. SPREADSHEET. zijn de volgende twee uiterste situaties weergegeven:

TABEL 2 MAXIMALE EN MINIMALE BELASTING MOTOR

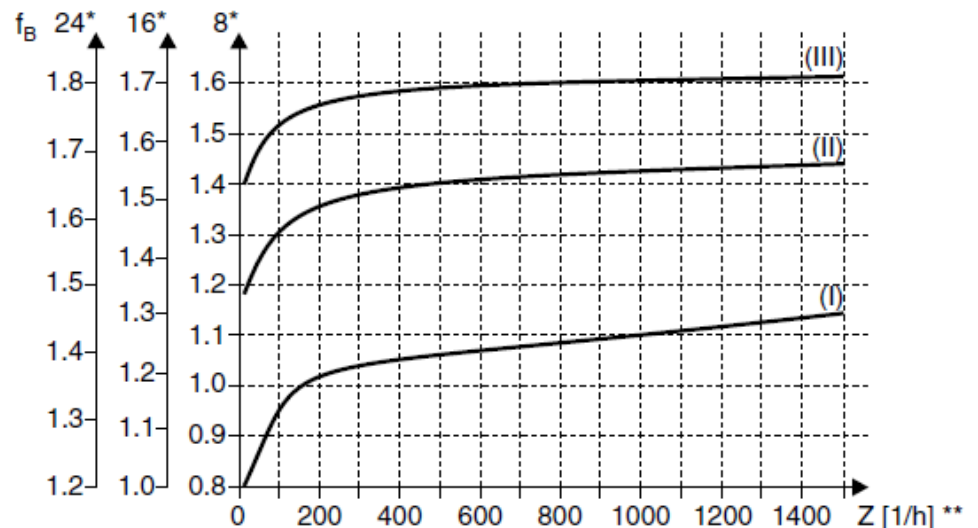
	Minimaal	Maximaal
Lengte (m)	4	25
Belasting (%)	50	100
Verhouding nominaal en aanloopkoppel (max 130%)	12,61	129,90
Motorbelasting	5,2	62,2
Energiebesparing tov origineel (€ per jaar)	10,69	126,83
Terugverdien tijd excl. Onderhoud (jaar)	32,75	2,76

Uit bovenstaande waardes blijkt duidelijk dat wanneer bij voorkeur één motor gekozen wordt deze altijd over gedimensioneerd is. Een groot probleem is dat het aanloopkoppel enorm hoog is (wrijving tussen band en pot wanneer band stil staat).

Vanwege bovenstaande vergelijking en berekeningen zal er gekozen worden voor een **inductiemotor met een vermogen van 0,37kW (IE1/IE4)**.

Reductorkeuze

Uit de berekeningen bij de motorverantwoording is vastgesteld dat de het uitgaande toerental 74,81 rpm moet zijn (hierbij zou een theoretisch overbrengingsverhouding van 18,45 horen). Naast de overbrengingsverhouding is de "Service factor" f_b belangrijk bij het vaststellen van de juiste reductor. Deze factor is afhankelijk van het aantal operationele uren per dag, het aantal schakelingen en de soort belasting.



FIGUUR 8 KOPPEL- TOEREN KROMME

De belasting soort, I,II of III wordt vastgesteld aan de hand van de f_m -waarde.

- (I) Uniform, permitted mass acceleration factor ≤ 0.2
- (II) Non-uniform, permitted mass acceleration factor ≤ 3
- (III) Non-uniform, permitted mass acceleration factor ≤ 10

FIGUUR 9 BELASTINGKLASSEN

$$f_m = \frac{J_x}{J_m} = \frac{0.00235}{0.000513} = 4.58 \rightarrow \text{dit betekend een belasting soort van klasse 3.}$$

Dit komt dus neer op een $f_b = 1,4$. Dus de minimale Service Factor moet 1,4 zijn.

Spieberekening

Tabellen staan in Rolof/Matek Machineonderdelen – Tabellenboek, 5^{de} druk. Zie bijlage 22. GEGEVENS SPIEBEREKENING voor de tabellen met de gebruikte waarden.

Controle of de spie voldoende sterk is voor de optredende kracht. Keuze spie is; DIN 6885 A6x6x10.

Materiaal van de as S235JR

Materiaal van de spie C45K¹⁵

$$p_{gem} \approx \frac{F_{t,eq} \times K_\lambda}{h' \times l' \times n \times \varphi} \leq \bar{p}$$

$$F_{t,eq} = K_A \times F_{t,nom} = 1,4 \times 414 = 580N$$

¹⁵ https://www.agrolager.de/product_info.php?products_id=40002840

K_λ = lastverdelingsfactor

K_A = bedrijfsfactor

φ = draagfactor, bij $n = 1$, $\varphi = 1$

n = aantal inlegspieën

$h' = 0,45 \times h = 0,45 \times 6 = 2,7\text{mm}$; dragende spiehoogte

$l' = l - b = 10 - 6 = 4\text{mm}$; vlakke inlegspie met ronde kopvlakken

$$\bar{p} = f_s \times f_h \times \frac{R_e}{S_F} = 1 \times 1 \times \frac{235}{1,5} = 156,7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{F_{t,eq} \times K_\lambda}{h' \times l' \times n \times \varphi} = \frac{580 \times 1}{2,7 \times 4 \times 1 \times 1} = 53,7 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$53,7 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 156,7 \frac{N}{\text{mm}^2} \text{ dus voldoet}$$

Omdat deze ruim voldoet aan de eisen kijken we of dat een kortere spie ook voldoet aan de eisen. Bij een spie van DIN 6885 A6x6x8 geldt:

$$\frac{F_{t,eq} \times K_\lambda}{h' \times l' \times n \times \varphi} = \frac{580 \times 1}{2,7 \times 2 \times 1 \times 1} = 107,4 \frac{N}{\text{mm}^2} \leq 156,7 \frac{N}{\text{mm}^2} \text{ dus voldoet ook}$$

De kleinst mogelijke spie zal de maximale vlaktedruk gemakkelijk kunnen weerstaan. Hiermee zal **DIN 6885 A6x6x8**¹⁶ als spie gekozen worden.

Technische tekeningen pakket

Tekeningen pakket staat in de bijlage (bijlage: 24. TEKENINGENPAKKET VERBETERVOORSTEL) en bestaat uit:

- Samenstellingstekeningen
- Doorsnede tekening
- Werktekeningen
- Stuklijst

De tekening is een standaard transportband van 5meter, zonder bochten en zonder verhoging. Logischer wijs is dit natuurlijk ook mogelijk.

¹⁶ https://www.agrolager.de/product_info.php?products_id=40002813

Financieel

Het Nederlandse ministerie van Economische Zaken stimuleert duurzaam ondernemen door middel van Energie-investeringsaftrek (EIA)¹⁷. Dit is een fiscaal voordeel dat bedrijven krijgen wanneer ze investeren in energiezuinig technieken, als het ware krijgen ze gewoon een korting.

De investeringen die in aanmerking komen staan gespecificeerd in de energielijst-2017. Wat betreft energiezuinige aandrijvingen staat het volgende vermeld:

“210601[w]

HR-elektromotor

Bestaande uit: elektromotor met een nominaal vermogen kleiner dan of gelijk aan 370kW, die voldoet aan de IE4 efficiency-klasse gemeten conform IEC60034-30-1:2014. Alleen de elektromotor zelf komt voor Energie-investeringsaftrek in aanmerking.”(RVO, 2017, p. 24).¹⁸

Omdat het gaat om een IE4-klasse elektromotor met een nominaal vermogen van 0,37kW bevestigt dit dat deze investering in aanmerking komt voor de EIA. Wat betreft het fiscale voordeel geldt het volgende:

“U kunt 55,5% van de investeringskosten aftrekken van de fiscale winst, boven op uw gebruikelijke afschrijving.”¹⁷

Met andere woorden wil dit zeggen dat men over 55,5% van de investering geen winst belasting hoeft te betalen. De winst belasting is 25,0%¹⁹ (ervan uitgaande dat Bolsius €200.000,- per jaar winst maakt).

Feitelijk gezien komt dit uiteindelijk op een korting van $55,5\% \times 25,0\% = 13,875 \approx 14\%$ op een energiezuinige investering.

TABEL 3 OVERZICHT PRIJS OPBOUW

	IE1	IE4	
Inkoopprijs (excl. BTW)	€709,92*	€969,06*	
Energie-investeringsaftrek (EIA)	€0,00	€135,67	
Netto prijs	€709,92	€833,34	

Verschil met IE1

-

€123,42

* Voor offertes zie bijlage 23. OFFERTES ELEKTROMOTOREN SEW

De IE4 motor verbruikt ten opzichte van de IE1 motor 19% minder energie. Hierdoor zullen de extra kosten van €123,42 enorm snel terug verdient zijn. Het belangrijkste is dat deze binnen 5 jaar (maximale terug verdien tijd volgens PvE) terugverdiend is.

¹⁷ <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/energie-investeringsaftrek-eia>

¹⁸ <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/Energie-investeringsaftrek%20-%20Energelijs%202017.pdf>

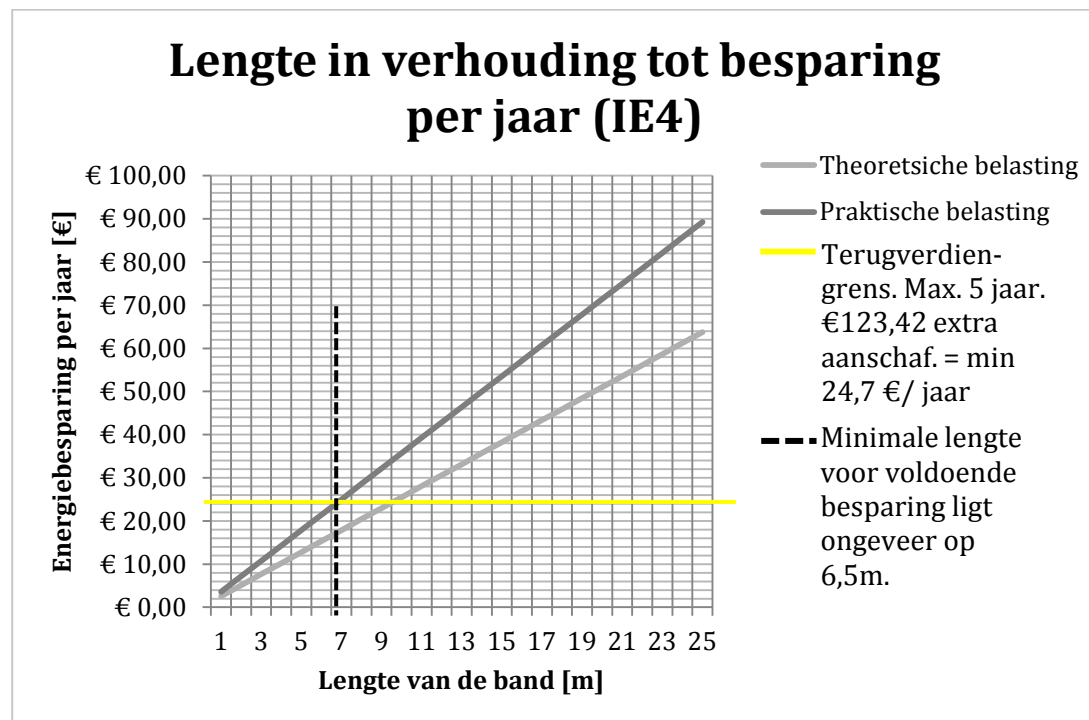
¹⁹

https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/winst/vennootschapsbelasting/tarieven_vennootschapsbelasting

Het is aan te raden om in een IE4 motor te investeren en nuttig gebruik te maken van de EIA regelgeving. Theoretisch gezien zou het pas interessant worden bij banden langer van ongeveer 9m. Omdat deze per jaar 24 euro minder stroom verbruiken dan bij een IE1 motor. Maar dat is bij een vlakke band onder optimale omstandigheden. Hierbij is geen rekening gehouden met eventuele hellingen, bochten, vervuiling (achterstallig onderhoud), slijtage, speling en onvoorziene invloeden. Dit betekent dat het energieverbruik altijd hoger uit zal vallen.

Om 123,42 euro extra te besparen in 5 jaar tijd zal per jaar dus ongeveer 24,7€ per jaar stroom bespaard moeten worden (verschil tussen IE1 en IE4).

Per meter band wordt 1,32€/m en 3,87€/m, respectievelijk bij een IE1 en IE4 motor, bespaard. Dat is 2,55€ per meter band verschil tussen de IE1 en IE4 motor. Dat betekent dat theoretisch gezien bij een band van 9 meter voldoende bespaard wordt om een IE4 motor aan te schaffen. Maar stel dat men met de invloeden van hierboven 40% meer energie verbruikt. Dan wordt het verschil 3,57€ in plaats van 2,55€ / meter.



FIGUUR 10 OVERZICHT LENGTE T.O.V. ENERGIEBESPARING PER JAAR (IE4)

In bovenstaande grafiek is de lengte van de band uitgezet tegen de energiebesparing per jaar. Hierin is een onderscheid gemaakt tussen theoretische en praktische belasting. Zoals eerder beschreven zit het verschil in onvoorspelbare invloeden. Uit de grafiek kan men concluderen dat in het meest optimale geval voor alle transportbanden onder de 6,5m een IE1 motor gebruikt moet worden. Wanneer transportbanden langer of gelijk zijn aan 6,5m zou een IE4 motor gekozen moeten worden.

Motorkeuze

Rekening houdende met alle voorgaande genoemde aspecten, constructief en financieel zijn er twee motoren die voldoen aan de eisen. Op zowel constructief als financieel vlak zou het efficiënter zijn om een scheiding te maken in een lichte en krachtigere motor. Er is gebleken dat 0,37kW voldoende sterk is voor alle mogelijke transportbanden. Dan blijven er nog twee motoren over, zie onderstaande tabel. Beide motoren voldoen aan de eis dat de service factor (F_b) minimaal 1,4 moet zijn.

Op financieel gebied zou het efficiënter zijn om een scheiding te maken bij 6,5m, maar om zo uniform mogelijk te blijven is het verstandig om één motor overal te gebruiken. Daarnaast is het voor de buitenwereld goed om te laten merken dat Bolsius energie bewust is en overal energie zuinige motoren gebruikt.

Daarom zal er gekozen worden voor een IE4 motor (K29DRU71MJ4) Deze is in aanschaf iets duurder maar zal zichzelf snel terugverdienen.

TABEL 4 GESCHIKTE MOTOREN

	Efficiency class	P[kW]	n_a [1/min]	M_a [Nm]	I	F_b	n_{Mot} [1/min]
K19DRS71S4	IE1	0,37	74	47	18,55	1,7	1380
K29DRU71MJ4*	IE4	0,37	75	47	19,99	2,8	1500

*Motor met LSPM-technologie

6. ADVIES

Zoals al eerder genoemd, is het zaak dat een learning curve gerealiseerd wordt die de productie kan optimaliseren. Om dat leerproces te starten en in stand te houden is het raadzaam om aandacht te besteden aan de volgende punten:

Minder leveranciers

Minder leveranciers spreekt bijna voor zichzelf. Dat betekent minder administratief werk omdat er minder facturen binnen komen. Daarnaast zal een leverancier meer aandacht aan Bolsius besteden wanneer ze voor €100.000,- per jaar afnemen dan wanneer ze voor €5.000,- per jaar afnemen. Beter contact, betekent betere, snellere service en hogere kortingen.

Investeren in uniformiteit qua merken

Wat betreft de diversiteit qua merken valt er nog winst te behalen voor Bolsius. Eerder in de scriptie is het voorbeeld van elektromotoren aangehaald. Maar dit geldt ook voor PLC's, monitors, sensors etc. Wanneer voor alles hetzelfde merk gebruikt wordt kan de voorraad drastisch verminderd worden. Minder voorraad neemt minder ruimte in beslag, kost minder tijd/geld om te beheren en is makkelijker te ordenen.

Investeren in de documentatie van machines

Zelfbouw Het is belangrijk dat de documentatie up-to-date is. Het is namelijk een tijdrovende klus wanneer een onvoorziene storing optreedt en het defecte onderdeel onbekend is.

Inkoop Hiervoor geldt hetzelfde als voor machines die zelf gebouwd zijn. Het kost enorm veel tijd als het defecte onderdeel onbekend is. Vaak zal een onafhankelijke leverancier een onderdeel veel sneller kunnen leveren dan de leverancier van de machine. Daarnaast wil de leverancier van de machine ook verdienen op losse spareparts die nageleverd moeten worden.

Actief onderhouden, bijsturen en controleren van maintenance control

Wellicht het belangrijkste punt. Wanneer MC actief onderhouden wordt zal er altijd een leerproces ontstaan; verkeerde inschattingen kunnen worden bijgestuurd en preventief onderhoud zal nauwkeuriger worden. Hierin hoort ook, zoals genoemd in 4.1.6 Controleren & beheren, is het belangrijk om de resultaten te monitoren en zal hier werk van gemaakt moeten worden.

Stimuleren van medewerkers om alert en meedenkend te zijn

Zoals al eerder aangegeven zullen engineeringsoopdrachten de weg naar het gestreefde einddoel accelereren. Maar dit kan niet zonder de input van medewerkers; zij zullen alert moeten blijven en meedenken.

Maak gebruik van de EIA regelgeving

Door slim gebruik te maken van de EIA regelingen kunnen verbeterprojecten eventueel goedkoper gerealiseerd worden wanneer hiermee energie bespaard wordt.

7. CONCLUSIE

Tijdens deze werktuigbouwkundige scriptie is gewerkt aan het nastreven van de gewenste technische beschikbaarheid van 98% van de productielijn tegen de gewenste onderhoudskosten van maximaal 3% van de aanschafwaarde. Hiervoor is een theoretisch onderbouwde analyse opgezet die de onderhoudsbehoefte en spareparts van productielijn 8 bepalen.

Uit de resultaten van de analyse is een onderhoudsbehoefte gekomen die dankzij de beslissingsschema's niet vatbaar is voor eigen interpretatie. Wanneer de data van de onderhoudsbehoefte op de juiste manier onderhouden worden – actief beheren, controleren en bijsturen van Maintenance Control – zal Bolsius een learning curve doorlopen. Door steeds weer van fouten te leren. Zal uiteindelijk het gewenste target worden behaald.

Het constructieve onderzoek heeft uitgewezen dat de huidige constructie onderhouds-technisch niet optimaal is geconstrueerd. Desalniettemin is wel de juiste motor keuze gemaakt. Door de aanpassing naar een kegeltandwielvertragskast zullen de investeringskosten hoger zijn maar zullen de onderhoudskosten drastisch afnemen. Door de afname van de onderhoudskosten zal de hogere investering in 3 jaar tijd terug te verdienen zijn.

Wanneer alle gegevens bekend zijn en Maintenance Control in de loop der tijd steeds gedetailleerder wordt, zal Bolsius steeds dichterbij hun gestelde eisen komen. Raadzaam is dat iedereen gestimuleerd wordt om alert en meedenkend te blijven. Hierdoor zullen, met de ervaringen en adviezen van medewerkers en met de engineeringopdrachten de machines telkens verbeterd worden. De onderhoudskosten en storingstijden zullen dalen.

“Efficiënt onderhoud gecombineerd met optimaal geconstrueerde machines resulteert in een maximale beschikbaarheid tegen minimale kosten.”

8. BRONVERMELDING

AgroLager. (sd). *P 4X 4X8*. Opgeroepen op Mei 2017, van
https://www.agrolager.de/product_info.php?products_id=40002813

AgroLager. (sd). *P 6X 6X10*. Opgeroepen op Mei 2017, van
https://www.agrolager.de/product_info.php?products_id=40002840

Belastingdienst. (sd). *Tarieven voor de vennootschapsbelasting*. Opgeroepen op Mei 2017, van
https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/winst/vennootschapsbelasting/tarieven_vennootschapsbelasting

Bolsius. (sd). *Onze geschiedenis*. Opgeroepen op Maart 2017, van
<https://www.bolsius.com/historie/>

Electrical and Mechanical Services Department of Hongkong. (sd). *Report on Study on International Efficiency (IE) Efficiency Classes for Low Voltage AC Motors*. Opgeroepen op April 2017, van
http://www.emsd.gov.hk/filemanager/en/content_764/Report%20on%20International%20Efficiency%20Efficiency%20Classes%20for%20Low%20Voltage%20AC%20Motors.pdf

Kolmer Elektromotoren B.V. (2015, Januari 5). *Nieuwe rendementsindelingen*. Opgeroepen op Maart 2017, van <http://www.kolmer.nl/wp-content/themes/kolmer/img/pdf/brochures/Nieuwe%20rendementsindelingen.pdf>

Kosterman, R. (2016, April 7). *Dit zijn de grootste familiebedrijven*. Opgeroepen op Maart 2017, van
<http://www.elsevier.nl/economie/achtergrond/2016/04/dit-zijn-de-honderd-grootste-familiebedrijven-van-nederland-2-2784780W/>

Marr, B. (2016, Juni 20). *What Everyone Must Know About Industry 4.0*. Opgeroepen op Maart 2017, van
<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#23c600d795f7>

Rexnord. (sd). *Engineering Manual - Rexnord MatTop and TableTop Chain - Issue 3*. Opgeroepen op Maart 2017, van
<http://www.ttcprogress.ru/files/f3fx80dot/Rexnord%20engineer.pdf>

RVO. (2017). *Energieinvesteringsaftrek (EIA) Energielijst 2017*. Opgeroepen op Mei 2017, van <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/12/Energie-investeringsaftrek%20-%20Energielijst%202017.pdf>

RVO. (sd). *Info over EIA*. Opgeroepen op Mei 2017, van
<http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/energie-investeringsaftrek-eia>

Samuel, B. (2016, December 9). *Digital darkness in manufacturing floor leaves plant management blind*. Opgeroepen op Maart 2017, van
<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/digitally-dark-manufacturing-plant/>

SEW eurodrives. (2001, November). Het selecteren van aandrijvingen - Aandrijftechniek in de praktijk. Nederland.

SEW eurodrives. (2010, Juni). Catalog - Gear Units. Nederland.

SEW Eurodrives. (2015, Februari). Addendum to the Catalog - AC motoren - DR..71.J - DR..100.J. Nederland.

SEW eurodrives. (sd). *Global efficiency standards for 3-phases AC motors*. Opgeroepen op april 2017, van https://master.sew-eurodrive.com/media/sew_eurodrive/pdf/produkte_1/motoren_1/en_1/areas-of-application-ac-motors-en.pdf

Windmolensite. (sd). *Asynchrone motor*. Opgeroepen op April 2017, van http://www.windmolensite.be/windmolen_PLC/driefasige%20asynchrone%20motor.pdf

Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Voßiek, J. (2013). *Roloff/Matek machineonderdelen - Tabellenboek*. Amsterdam: Boom Uitgevers.

Wittel, H., Muhs, D., Jannasch, D., Voßiek, J. (2013). *Roloff/Matek machineonderdelen - Theorieboek*. Amsterdam: Boom Uitgevers.

World Economic Forum. (2015, January). *Industrial Internet of Things; Unleashing the Potential of Connected Products and Services*. Opgeroepen op Maart 2017, van http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_IndustrialInternet_Report2015.pdf