

## MASTER

### Ontwerp van een basislijnmachine

Pieterse, P.M.G.

*Award date:*  
1993

[Link to publication](#)

#### **Disclaimer**

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

#### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

#### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Faculteit Werktuigbouwkunde der  
Technische Universiteit Eindhoven  
Vakgroep Productietechnologie en -Automatisering

afstudeerverslag

**Ontwerp van een  
basislijnmachine.**

door: P.M.G. Pieterse

Onderzoeksrapport WPA 1506

afstudeerhoogleraar: prof. ir. J.M. van Bragt  
begeleiders: ir. A.T.J.M. Smals (T.U.E.)  
ing J.T.C.M. van Duppen (Philips)

Eindhoven, mei 1993

---

## Samenvatting

Dit verslag bevat een beschrijving van de afstudeeropdracht van P.M.G. Pieterse, uitgevoerd bij Philips Lighting in Eindhoven.

Binnen de bedrijfsmechanisatiegroep van Lighting wordt modulair ontworpen met behulp van een modulair bouwsysteem. Dit bouwsysteem bestaat uit basiselementen en interfaceafspraken over samenwerking met produktspecifieke bewerkingsmodules. Men wil aan dit bouwsysteem een basislijnmachine toevoegen, met als functies het stapsgewijs doorzetten van de produkten en het aandrijven van de bewerkingsmodules. De afstudeeropdracht bestond uit het maken van een ontwerp voor deze machine plus het opstellen van de specificaties hiervan.

Om tot dit ontwerp te komen is eerst het probleem opgesplitst in een aantal deelproblemen. Daarna is voor ieder deelprobleem een aantal oplossingen gegenereerd, waar vervolgens de beste uit is gekozen. Het aldus ontstane concept is constructief uitgewerkt in een aantal tekeningen, die bij dit verslag horen. Uit de berekende specificaties volgt dat aan de gestelde eisen qua nauwkeurigheid en kostprijs is voldaan. De modulariteit is gehandhaafd door de positioneernauwkeurigheid volledig uit de modules te halen in plaats van uit de lijnmachine, zodat vantevoren afstellen en testen van de modules nog steeds mogelijk is. Ook het frame is modulair opgebouwd, zodat verschillende voudigheden kunnen worden gecreëerd.

Als de basislijnmachine wordt opgenomen in het modulair bouwsysteem, hebben constructeurs voortaan de mogelijkheid om te kiezen tussen een molen of een lijn of combinaties hiervan, wat onder andere voor de lay-out grote voordelen biedt.

## Summary

This report contains a description of the endstudy project of P.M.G. Pieterse at Philips Lighting, for the faculty of mechanical engineering of the Technical University of Eindhoven.

Within the mechanizationgroup of Philips Lighting a modular designsystem is used to design faster and more efficiently. This system consists of basic elements and standardized interfaces between these elements and processing modules. Now they want to extend the system with a basic linemachine for stepwise transport of products and driving of the processing modules. The goal of this assignment was to make a design for this machine and determine the specifications of it.

To achieve this, the problem is split into subproblems and for each of these some

alternatives are generated. Selection of the best alternatives led to a concept for the new machine. This concept is worked out into working drawings for the machine and the positioning module, that can be mounted to the camunit. From the calculated specifications results that they meet the requirements. Modularity is maintained by making the positioning module a part of the processing module, independent of the machine itself, so adjusting and testing of the processing modules in advance is still possible. The frame is also modular, so different lengths can be created.

If the basic linemachine is added to the modular system, constructors will have the possibility to choose between linear and circular product transport, which gives advantages, for example for the lay-out.

## **Voorwoord.**

Voor ik verslag doe van mijn afstudeeropdracht wil ik eerst de mensen bedanken die hun tijd en moeite hebben ingezet om mijn afstudeerperiode tot een succes te maken.

Allereerst zijn dat natuurlijk mijn begeleiders: Ir. A.T.J.M. Smals vanuit de T.U.E. en ing. J.T.C.M. van Duppen vanuit het bedrijf. Verder wil ik zeker ook nog Jan van Kleef bedanken voor zijn adviezen en opmerkingen.

# Inhoudsopgave.

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Inleiding.</b> . . . . .                             | 7  |
| <b>2. De oriëntatie.</b> . . . . .                         | 8  |
| 2.1. De probleemstelling. . . . .                          | 8  |
| 2.2. Het eisen -en wensenpakket . . . . .                  | 8  |
| <b>3. Het hoofdontwerp.</b> . . . . .                      | 11 |
| 3.1. De deelprojecten . . . . .                            | 11 |
| 3.2. Het produkttransport . . . . .                        | 11 |
| 3.2.1. De indeling . . . . .                               | 11 |
| 3.2.2. Het type transportsysteem . . . . .                 | 12 |
| 3.2.3. Het transportmiddel . . . . .                       | 15 |
| 3.2.4. Het indexeren . . . . .                             | 17 |
| 3.2.5. Het positioneren. . . . .                           | 18 |
| 3.3. Aandrijving en overbrenging . . . . .                 | 20 |
| 3.3.1. De indeling . . . . .                               | 20 |
| 3.3.2. De aandrijving . . . . .                            | 20 |
| 3.3.3. De overbrenging naar de modules . . . . .           | 21 |
| 3.3.4. De overbrenging naar het transportsysteem . . . . . | 22 |
| 3.4. Het onderstel . . . . .                               | 23 |
| <b>4. Het ontwerp van de basislijnmachine</b> . . . . .    | 24 |
| 4.1. De werking van de machine. . . . .                    | 24 |
| 4.2. Constructieve aspecten. . . . .                       | 24 |
| 4.3. Modulaire opbouw van het frame. . . . .               | 25 |
| <b>5. Het ontwerp van de positioneermodule</b> . . . . .   | 28 |
| 5.1. De oriëntatie . . . . .                               | 28 |
| 5.2. Het hoofdontwerp. . . . .                             | 28 |
| 5.3. Constructieve uitwerking van het ontwerp: . . . . .   | 29 |
| <b>6. Specificaties van de lijnmaschine</b> . . . . .      | 33 |
| 6.1. Inleiding . . . . .                                   | 33 |
| 6.2. De nauwkeurigheid zonder naponen. . . . .             | 33 |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 6.3. De nauwkeurigheid met napositioneren. . . . .  | 35        |
| 6.4. De kostprijs van de lijnmaschine . . . . .     | 40        |
| 6.5. De kostprijs van de positioneermodule. . . . . | 40        |
| <b>7. Conclusies en aanbevelingen. . . . .</b>      | <b>41</b> |

## 1. Inleiding.

Binnen de bedrijfsmechanisatiegroep (BM-groep) van Philips Licht wordt de noodzaak gezien om meer modulair te ontwerpen. Het voordeel hiervan is dat er meer parallel ontworpen en gebouwd kan worden, waardoor de totale projectkosten en de doorlooptijd afnemen.

Om dit te bereiken is een modulair bouwsysteem ontwikkeld. Dit bouwsysteem bestaat uit produktonafhankelijke basiselementen, en interface-afspraken over samenwerking met produktspecifieke bewerkingsmodules. Een belangrijke rol hierbij speelt de basismolen, die produkten in produkthouders stapsgewijs doorzet en door middel van een tandkrans de erop te monteren bewerkingsmodules aandrijft. Deze modules worden vantevoren al afgesteld en getest op een proefstand. Dit concept blijkt goed te voldoen en leidt inderdaad tot kortere doorlooptijden voor mechanisatieprojecten.

Om de serie basiselementen binnen het modulair bouwsysteem verder uit te breiden, wil men nu een basislijnmachine in het programma opnemen, met dezelfde functies als de basismolen maar dan translenderend. Momenteel worden lijnmachines gekocht buiten Philips, maar deze passen uiteraard niet binnen het modulaire bouwsysteem. Ze zijn echter wel goedkoop en betrouwbaar. Ook is er binnen Philips een aantal jaren geleden een basislijn-machine ontwikkeld. Deze was echter te vuil -en onderhoudsgevoelig. Ook was deze machine uiteindelijk te duur.

De opdrachtschrijving voor deze afstudeeropdracht werd dan ook: Ontwerp een basislijnmachine -passend binnen het modulaire bouwsysteem- die qua prijs en specificaties kan concurreren met de inkoopmachines.

Het ontwerpen van de assemblagelijijn moet gebeuren met behulp van de projectstrategie, zoals deze wordt onderwezen door prof. Van Bragt in het college "Bijzondere Onderwerpen Bedrijfsmechanisatie" aan de T.U. Eindhoven.

De projectstrategie is een ontwerpmethodode waarbij een zo strikt mogelijke top-downbenadering wordt aangehouden. Er wordt vanuit een hoog abstractieniveau stap voor stap afgedaald tot op het niveau van de realisatie. Bij de tussenliggende stappen wordt ervan uitgegaan dat de beslissingen die zijn genomen bij voorgaande stappen onherroepelijk zijn. Het project wordt hierbij opgedeeld in drie hoofdfasen: de oriëntatiefase, de planfase en de uitvoerende fase. Deze indeling is terug te vinden in dit verslag in respectievelijk de oriëntatie, het hoofdontwerp en de constructieve uitwerking. Daarna volgen nog de berekeningen van de specificaties van de ontworpen machine en conclusies met aanbevelingen met betrekking tot het verdere verloop van het project.



## **2. De oriëntatie.**

### **2.1. De probleemstelling.**

Om de doelstelling van de opdracht zo duidelijk mogelijk te definiëren en te komen tot een goede opdrachtschrijving, is er eerst een oriëntatie op de opdracht uitgevoerd. Dit om te voorkomen dat pas na verloop van veel kostbare tijd ontdekt wordt dat men eigenlijk niet met het juiste probleem bezig is. Aan de hand van een aantal steekvragen is geprobeerd zoveel mogelijk informatie over de opdracht te verzamelen. De vragenlijst plus de beantwoording hiervan is te zien in bijlage 1.

Hieruit volgde dat het hoofddoel van deze afstudeeropdracht is om te komen tot een ontwerp van een basislijnmachine, passend binnen het modulaire bouwsysteem van Philips Licht en concurrerend met de huidige inkoopmachines van licht. Om vast te stellen of hieraan inderdaad is voldaan moeten ook de specificaties en de kostprijs van de ontworpen machine bepaald worden.

De aandrijving van de bewerkingsmodules, die bij de basismolen door een tandkrans wordt verzorgd, kan bij de lijnmachine worden uitgevoerd met schroefwielen op een doorlopende as. Dit systeem is in de vorige lijnmachine reeds toegepast en bleek goed te voldoen. Het produkttransport van deze machine voldeed echter niet goed. Het was te vuilgevoelig en bovendien was de totale machine te duur.

De inkoopmachines hebben een hoge betrouwbaarheid en een lage kostprijs. Dit is onder meer bereikt door de machine zelf relatief onnauwkeurig te maken en na te positioneren op de bewerkingsplek. Ze passen echter weer niet binnen het bouwsysteem. Ook zit er constructief een aantal zwakke punten in deze machines. Deze moeten in het nieuwe ontwerp bij voorkeur worden vermeden.

Om de kracht van het modulaire bouwsysteem te handhaven, is het tevens belangrijk de mogelijkheid om vantevoren de modules af te stellen en te testen te bewaren.

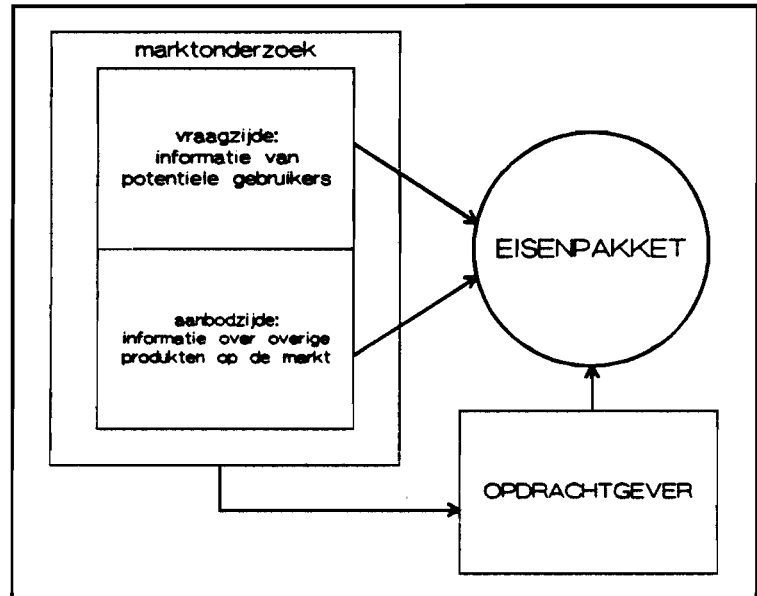
### **2.2. Het eisen -en wensenpakket**

De tweede stap na het zo nauwkeurig mogelijk vaststellen van de opdracht is het opstellen van het eisen -en wensenpakket. Om hiertoe te komen is een aantal vragen opgesteld met betrekking tot de verwachtingen aan de te ontwerpen machine. Aan de hand van de antwoorden op deze vragen is vervolgens het pakket van eisen en wensen opgesteld. De vragen en de beantwoording ervan zijn te zien in bijlage 2.

### Bronnen van informatie

Voor het beantwoorden van de vragen staan er verschillende bronnen ter beschikking. De eerste is de opdrachtgever, aangezien het produkt in eerste instantie moet voldoen aan de eisen die er door de opdrachtgever aan gesteld worden. Indien dit niet voldoende informatie oplevert kan er verder nog een marktonderzoek verricht worden, voor aanvullende informatie.

In dit marktonderzoek kunnen we twee delen onderscheiden (zie afbeelding 1), namelijk het onderzoek aan de vraagzijde en het onderzoek aan de aanbodzijde. In het eerste geval kan men via interviews met de potentiële klanten proberen te achterhalen wat de wensen van de markt waarop men wil opereren zijn. In het tweede geval kijkt men naar wat er reeds verkrijgbaar is op de markt en kiest daar een strategische plaats. De eisen en



*Afbeelding 1: Schematische weergave informatiebronnen eisenpakket*

wensen direct van de opdrachtgever zullen in de meeste gevallen een resultaat zijn van eerder marktonderzoek, wat is aangegeven door de onderste pijl in de afbeelding. In het oriëntatieproces kwam naar voren dat een groot deel van de specificaties direct door de opdrachtgever verstrekt kon worden. Marktonderzoek naar de behoefte aan lijnmachines binnen Philips Licht is reeds uitgevoerd en hieruit is gebleken dat een machine met specificaties zoals de Huttmachine goed zou voldoen (ing. J.Kips, ing. J. van Duppen). Dit leverde reeds een groot deel van de antwoorden op de vragen. De rest werd verkregen door verdere navraag bij de opdrachtgever of volgde uit het toepassingsgebied. Het uiteindelijke pakket van eisen en wensen kan in een tabel als volgt worden weergegeven (zie volgende pagina):

| criterium               | eis   | wens   |
|-------------------------|---|--|
| functie                 | produkthouders doorzetten en aandrijving modules verzorgen            |  |
| steek                   | minimaal 160  | gedefiniëerde beweging   |
| reproduceerbaarheid     | $\pm 0.02$  | -  |
| snelheid                | 3600 st./u.   | -  |
| voudigheid              | min. van 6 posities, tot $\pm 40$                                     | meer posities  |
| prijs                   | f 50.000,- tot f 80.000,-   | goedkoper  |
| hoogte bedplaat         | 850 mm.   | -  |
| interface modulen       | afmetingen volgens bijlage 5  | schroefwielconstructie zoals in bijlage 5                                      |
| interface produkthouder | produktspecifiek deel te monteren op algemeen deel van het draagblok. | -  |
| produktgewicht          | tot 1 kg.   | -  |
| lengte draagblok        | max. 160 mm.  | -  |
| productie, montage      | volgens milieuzorgmanual Philips Licht                                | eenvoudig te monteren goed afstelbaar  |
| gebruik                 | volgens Philips checklist veiligheid machines                         | hoge betrouwbaarheid<br>geluidsarm<br>lage vuilgevoeligheid<br>hoge levensduur |
| onderhoud               |   | onderhoudsarm<br>goede bereikbaarheid  |
| modulariteit            | geschikt voor basismodules  | aantal bewerkingsposities uitbreidbaar<br>modulaire opbouw van de constructie  |
| synchroniteit           | synchroon, ook na stroomuitval  | -  |

tabel 1: specificaties voor de lijnmaschine.

## 3. Het hoofdontwerp.

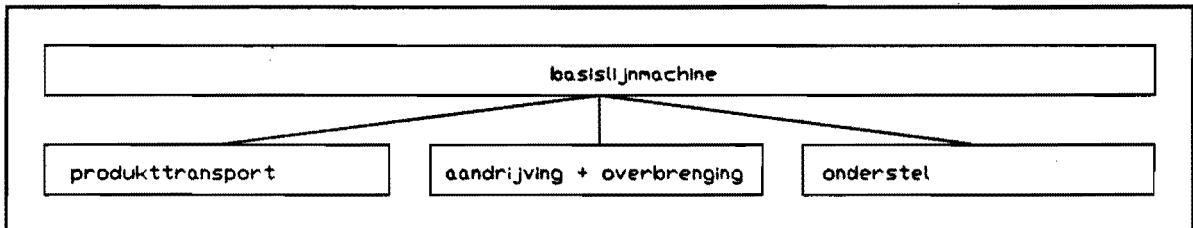
### 3.1. De deelprojecten

Een onderdeel van het modulair ontwerpen binnen de projectstrategie is het opsplitsen in deelprojecten. Een ontwerp kan normaal gesproken worden ingedeeld in een aantal deelontwerpen. Een optimale indeling wordt gevonden bij opdelen in  $\pm 3$  stukken.

Functies van de basislijnmaschine:

- stapsgewijs doorzetten van de produkten
- aandrijven van de bewerkingsmodules

De volgende hoofdindeling ligt daarom voor de hand (zie afbeelding 2):



*Afbeelding 2: Indeling van het ontwerp in modules.*

Voor het totale morfologisch schema wordt verwezen naar bijlage 6. De deelsystemen zullen hieronder verder uitgewerkt worden.

### 3.2. Het produkttransport

#### 3.2.1. De indeling

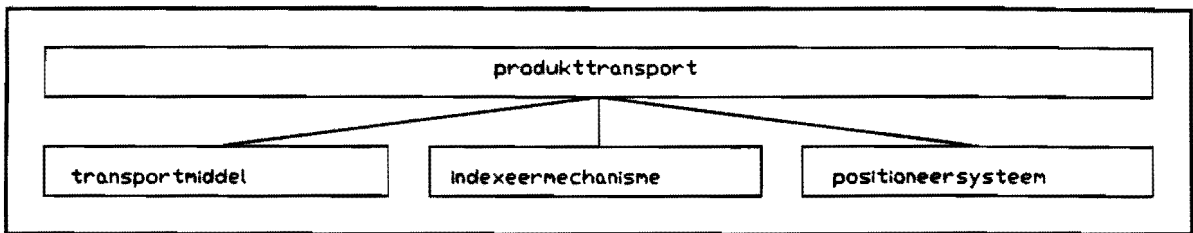
Functie: het stapsgewijs doorzetten van de produkten met de vereiste nauwkeurigheid.

Te onderscheiden deelfuncties:

- het dragen van de produkten
- het verzorgen van de stapbeweging
- het positioneren

De indeling wordt dus zoals aangegeven in afbeelding 3.

De deelsystemen zullen hieronder verder uitgewerkt worden.

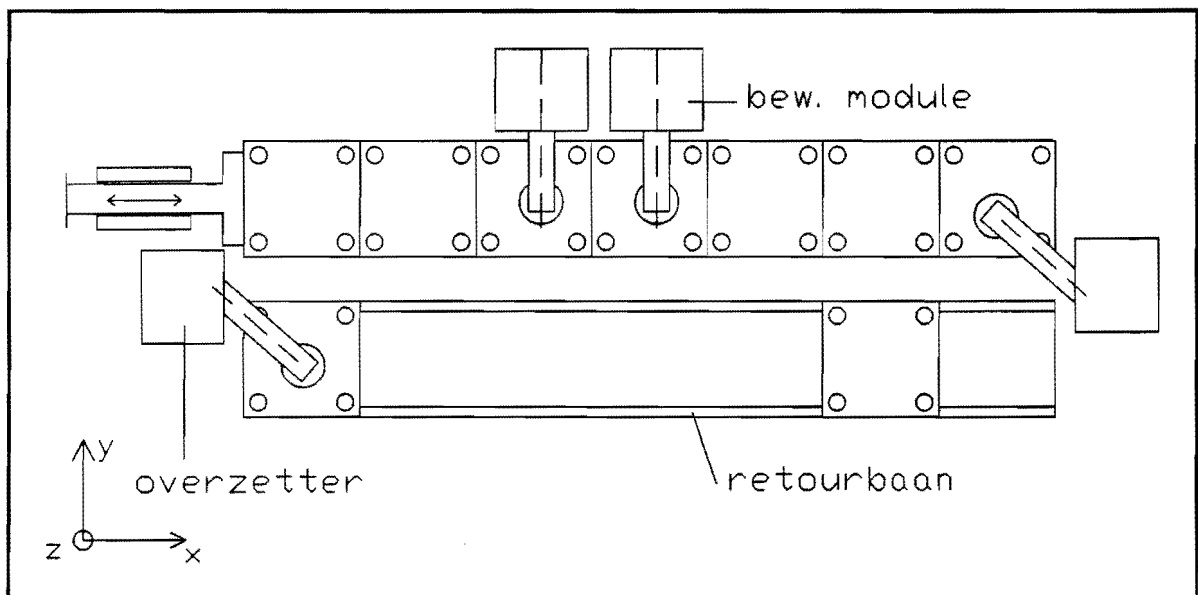


Afbeelding 3: Indeling van module produkttransport.

### 3.2.2. Het type transportsysteem

De kern van de lijnmachine is het transportsysteem. Dit zal daarom eerst gekozen moeten worden. Pas daarna kunnen andere constructieve keuzes zoals die van het doorzetmechanisme en de aandrijving gemaakt worden. Voor het transportsysteem zijn er verschillende mogelijkheden.

#### niet-gebonden produktdragers met één opduwer:



Afbeelding 4: Losse produktdragers met één opduwer

Afbeelding 2 uit bijlage 1 en afbeelding 4 laten twee configuraties zien waarbij de produktdragers in een keer worden doorgezet. De eigenschappen van dit type systeem kunnen als volgt worden omschreven.

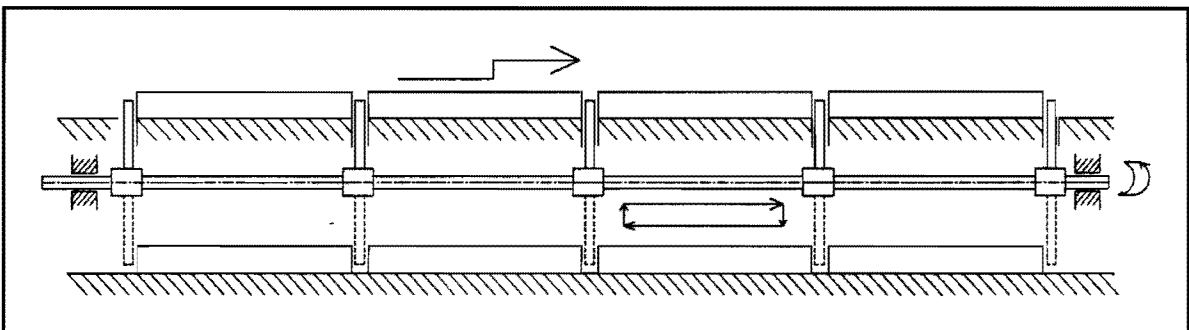
- voordelen:
- Het aantal posities is vrij te kiezen
  - Het aantal posities is makkelijk uit te breiden, zonder wijzigingen aan de aandrijving e.d.
  - Het doorzetmechanisme kan zeer eenvoudig, en dus goedkoop worden

uitgevoerd, bijvoorbeeld met een eenvoudige nok of een pneumatische cilinder.

- nadelen:
- Bij een versnelde retourbaan worden bijna alle produktdragers gebruikt.
  - Bij het doorzetten treedt er een stootbelasting op tussen de produktdragers. Dit heeft een negatieve invloed op het dynamisch gedrag en zorgt voor slijtage. Dit kan worden opgevangen door het transportdeel van de dragers tegen elkaar aan te laten en een apart positioneerdeel te monteren.
  - Er treedt een kettingfout op in de nauwkeurigheid bij het doorzetten van een lange rij produktdragers.
  - De constructie is zeer vuilgevoelig: vuil tussen de draagplaten gaat direct ten koste van de nauwkeurigheid.
  - Voor het plaatsen op en afnemen van de retourband moeten ook voorzieningen worden aangebracht.

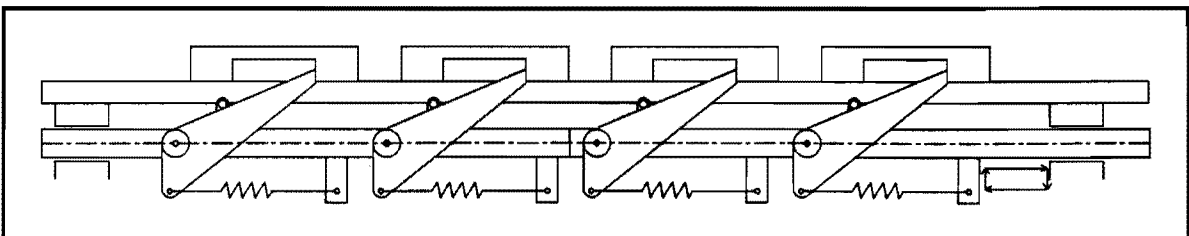
### Niet gebonden produktdragers met opduwer per drager

- Opduwer per blok (afbeelding 5)



Afbeelding 5: opduwer per draagblok

- Schuifstang met verende pallen (afbeelding 6)

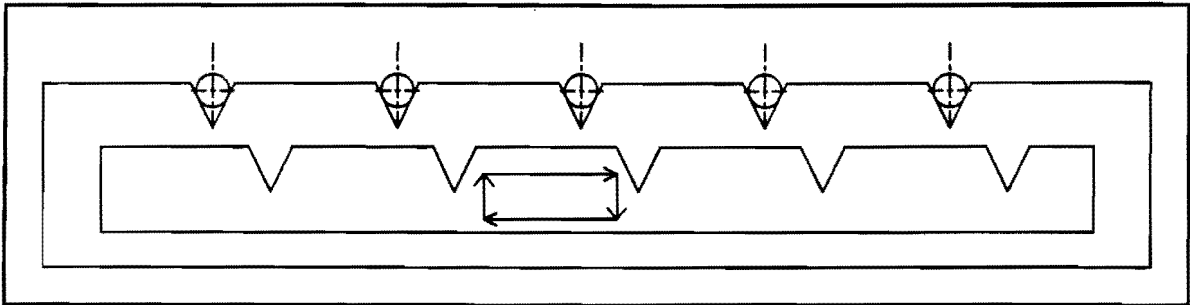


Afbeelding 6: Schuifstang met verende pallen

- Haasmechanisme (afbeelding 7)

Deze systemen hebben ongeveer dezelfde eigenschappen, en kunnen dus als groep worden behandeld.

- voordelen: - Niet op iedere positie hoeft een produktdrager te staan, Het is dus



Afbeelding 7: haas mechanisme

mogelijk om produktdragers te verwijderen, zonder dat de werking van de machine wordt aangetast.

- De schuifstang met verende pallen en het haasmechanisme zijn zeer eenvoudige, en daarom goedkope mechanismen.

- nadelen:
- Bij n posities is ook een n-voudig transportsysteem nodig. Voor een langere lijn wordt dit dus duurder.
  - Het transportsysteem moet worden uitgebreid bij uitbreiding van het aantal posities. Het systeem is dus minder flexibel qua aantal posities.
  - Bij hogere snelheden is het moeilijk om nog hoge nauwkeurigheden te realiseren.

Voor alle drie de principes geldt dat een retourbaan nodig is om de produktdragers weer aan het begin van de lijn te krijgen. Verder geldt dat bij het haasprincipe de produktdragers automatisch gepositioneerd kunnen worden.

#### Transportsystemen met flexibel gebonden produktdragers:

Voor systemen met flexibel gebonden produktdragers gelden de volgende eigenschappen:

- het aantal posities is vrij te kiezen.
- hoge bedrijfszekerheid
- het aantal posities is minder makkelijk te veranderen als de machine eenmaal staat
- groot aantal produktdragers nodig in verhouding tot het aantal posities.
- goedkoop
- geschikt voor hoge snelheden

In bijlage 7 is het beslissingsdocument voor het transportprincipe opgenomen. Hierin zijn de genoemde alternatieven getoetst aan een aantal criteria, waaraan een weegfactor is toegekend. Hieruit volgt dat de oplossing met de flexibel gebonden dragers het beste voldoet.

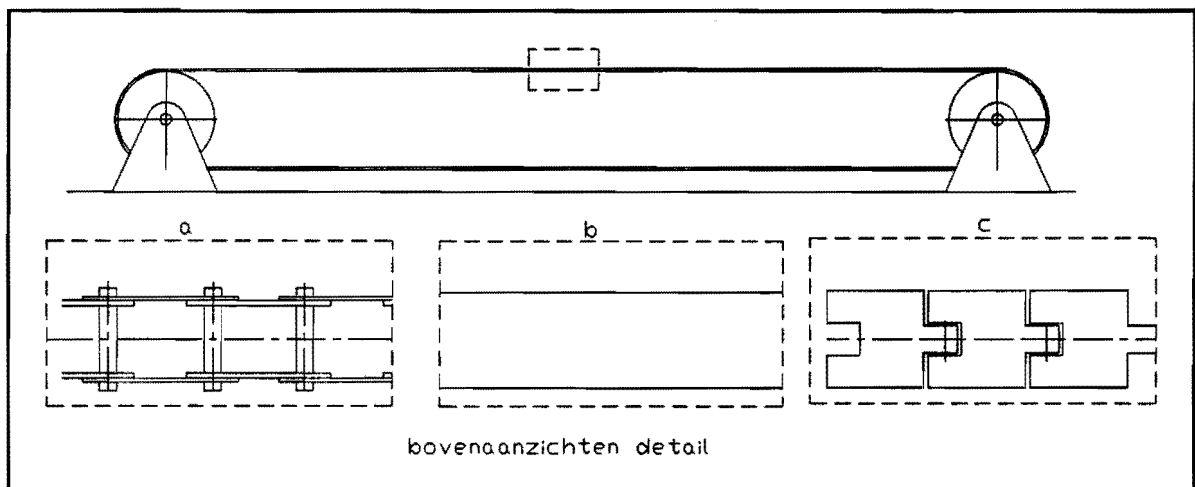
conclusie: Er wordt gekozen voor flexibel gebonden produktdragers.

### Uitvoeringsvorm

Een systeem met flexibel gebonden dragers (zie afbeelding 8.) kan horizontaal en verticaal uitgevoerd worden. De eerste uitvoering heeft het voordeel dat langs de gehele lijn bewerkingsmodules geplaatst kunnen worden. Het is echter geen echte lijnmachine; de produkten eindigen hun baan naast de plaats waar ze hem zijn begonnen. In dit soort gevallen kan dus net zo goed een molen worden gekozen. Met de verticale uitvoering worden de produkten van de ene kant van de baan naar de andere verplaatst en vervolgens gaan de produktdragers weer terug. Hiermee kan dus transport worden verzorgd, bijvoorbeeld van de ene molen naar de andere.

conclusie: Er wordt gekozen voor een verticale uitvoering.

### 3.2.3. Het transportmiddel



Afbeelding 8: transportsystemen met flexibel gebonden draagblokken.

Voor een ketting (afbeelding 8.a.) gelden de volgende eigenschappen.

- voordelen:
- goedkoop
  - Het aantal posities is vrij te kiezen.
  - Hoge betrouwbaarheid

verder geldt nog:

- Er zijn reeds positieve ervaringen mee opgedaan. Het concept heeft zich dus reeds bewezen, waardoor de acceptatiegraad binnen het bedrijf voor deze oplossing hoger zal zijn.
- Er is al veel kennis aanwezig over machines gebaseerd op dit concept en hun specifieke problemen. De kans om op onverwachte problemen te stuiten is dus kleiner, waardoor de doorlooptijd tot aan een goed lopende machine wordt verkleind.

- nadelen:
- Het aantal posities is minder makkelijk te veranderen als de machine



eenmaal staat.

- Er treedt veel slijtage op aan de ketting en aan de arreteerpennen.
- Er is een groot aantal produkt dragers nodig in verhouding tot het aantal posities.
- De hartafstand tussen de dragers moet een veelvoud van de kettingsteek zijn.

Voor een tandriem gelden de bovengenoemde eigenschappen ook met de volgende verschillen:

- aan een tandriem treedt veel minder slijtage op (geen draaipunten)
- een ketting hoeft niet gesmeerd te worden, dus minder onderhoud.
- men kan niet meer van de onderkant bij het produkt komen.

Bevestigen op tandriem kan op de volgende manieren:

- vormgesloten: met behulp van opgelaste nokken
- hybride: gebruikmakend van de vorm van de tandflank en klemming
- krachtgesloten: met een klemverbinding

De eerste oplossing heeft als nadeel dat de sterkte en stijfheid in bandrichting niet erg hoog zijn. Een ander nadeel is dat bij beschadiging van één van de nokken de hele band vervangen moet worden. Bij een krachtgesloten verbinding is er altijd nog slip mogelijk. Dit kan nadelig, maar ook gunstig zijn. Een nadeel van de tweede oplossing is dat er speciale tandriemschijven met uitsparingen gemaakt moeten worden.

• een staalband (afbeelding 8.b.)

voordelen: - veel minder slijtage.

- hoge stijfheid.
- geen speling
- nauwelijks hysteresis
- geen polygooneffecten

nadelen: - moeilijker productie (lassen van de band)

- uitlijnen van de assen moet zeer nauwkeurig, om "weglopen" van de band te voorkomen.
- er zijn grotere omkeerrollen, en dus meer produkt dragers nodig
- bij een band als eindloze keten heeft altijd de laatste slag een bepaalde afwijking. Ook bij uitmiddelen over alle steken geeft dit al een grote afwijking van de hartafstand tussen twee dragers.
- de band zelf is heel goedkoop. De omkeerrollen zijn echter specifieke maaddelen en hierdoor duur.

Voor de oplossing met een band is gesproken met dhr. Rienäcker van Philips Aken, die

binnen Philips zeer veel onderzoek naar produkt dragers op band heeft verricht. Belangrijkste conclusies uit dit gesprek waren:

- De onnauwkeurigheid in de bandlengte kan worden geëlimineerd door met een klemverbinding een overlap op elkaar te klemmen. De levensduur neemt hierdoor echter wel af.
- Bij hoge snelheden is laserlassen de beste verbinding voor de twee uiteinden. Hierdoor wordt de onnauwkeurigheid van de bandlengte echter weer geïntroduceerd. Dit wordt opgelost door de dragers met behulp van een bladveer flexibel op de band te bevestigen, zodat npositioneren mogelijk is.
- Het toepassen van een bandsysteem is geschikt daar waar produktiesnelheden of nauwkeurigheden te hoog worden voor andere systemen. In andere gevallen is het eenvoudiger en goedkoper om een ketting of tandriem te kiezen.

• een keten van verbonden dragers (afbeelding 8.c.)

- voordelen:
- eenvoudiger productie
  - uitlijnfout van de assen kan worden opgevangen.
  - bij zelf maken kan de hartafstand tussen twee dragers vrij gekozen worden.
  - geen slijtage
- nadelen:
- buigende momenten in de platen bij de rollenwielen (vermoeïing)
  - als het systeem wordt gekocht kan men niet iedere hartafstand kiezen.

Voor meer informatie over een gesegmenteerde staalband is contact opgenomen met de firma Ferguson Co. Deze systemen bleken echter te duur te zijn (vanaf f61.000,- voor het transportsysteem alleen), waardoor deze optie niet aan het eisenpakket voldoet en dus afvalt.

Al deze informatie is verwerkt in een beslissingsdocument (Bijlage 7). Hier kwam de tandriem als beste uit naar voren.

conclusie: Als transportmiddel wordt gekozen voor een tandriem.

### 3.2.4. Het indexeren

Voor het indexeren zijn er verschillende mogelijkheden:

- het indexeren van de tandriemschijf.
- het indexeren van een spindel, die vervolgens de dragers aandrijft. Npositioneren is dan niet meer nodig.
- het translerend indexeren van de tandriem.

In bijlage 7 is ieder van deze mogelijkheden getoetst op criteria als bedrijfszekerheid, levensduur, kostprijs enzovoort. Dit leverde als resultaat dat het indexeren van de

tandriemschijf de beste optie is en hiervoor wordt dus gekozen.

### Het indexeermechanisme

Voor een roterend indexeermechanisme staan de volgende mogelijkheden ter beschikking:

- kant en klare indexeeremachine
- pal-palwielmechanisme
- doorzetschijf met rollenwiel
- malteser kruis

Uit de toetsing aan de criteria bleek dat de indexer het beste alternatief was: het is goedkoper dan zelf een nokschijf maken en minder vuilgevoelig omdat hij goed zit afgeschermd in een kast. Het beslissingsdocument is te zien in bijlage 7.

### 3.2.5. Het positioneren.

Om de geëiste nauwkeurigheid te halen kan men op twee manieren te werk gaan. Het systeem heel nauwkeurig maken waardoor alle dragers direct goed gepositioneerd zijn, of het systeem zelf een lage nauwkeurigheid meegeven en vervolgens op de produktpositie npositioneren. De Hutt-machine is van dit tweede type.

- Met speling gemonteerde dragers en positionering per draagblok.

voordeel: - zekerheid dat iedere drager op zijn plaats zit

De HUTT machine heeft verder nog enkele nadelen, die echter niet algemeen voor dit concept gelden. Deze zullen dus zoveel mogelijk moeten worden vermeden indien er voor dit concept wordt gekozen.

- nadelen:
- onbepaaldheid van de positie van de drager voor het inkomen van de positioneerpen
  - wrijvingskrachtvariatie als gevolg van slijtage schotelveren.
  - niet zelfrichtend
  - positioneerbalk statisch overbepaald

- Star gemonteerde dragers en centrale positionering.

voordelen: - eenvoudiger constructie:

- dragers worden eenvoudig op band gemonteerd
- slechts één positioneerpen (geen positioneerbalk)

- statische bepaaldheid

nadelen: - grotere afhankelijkheid van afwijkingen als gevolg van warmte en dergelijke

- plaatsnauwkeurigheid is niet gegarandeerd. Kettingmaten met een kleine tolerantie kunnen over een lange reeks toch grote afwijkingen geven

- rek in ketting of band zorgt voor afwijkingen in nominale positie. (kan

opgevangen worden door dragers pas te monteren nadat de band is opgespannen.

Zoals uit bijlage 9 duidelijk blijkt is ook met een beter transportsysteem dan een ketting  $\pm 0.02$  mm. zonder naponen niet mogelijk. Er moet dus worden gekozen voor het eerste concept, met positionering per draagblok. Dit houdt in dat nu het transportsysteem met indexer niet erg nauwkeurig hoeft te zijn.

### Het vastleggen van de 6 vrijheidsgraden

De zes vrijheidsgraden zijn opgedeeld in drie groepen: X, Y en de rotatie in het XY-vlak en als derde Z en de twee overige rotaties.

Deze kunnen op de volgende manieren vastgelegd worden:

|   | X              | Y en rotatie in XYvlak | Z en overige 2 rotaties |
|---|----------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | pen in sleuf   | geleiding              | geleiding               |
| 2 | pen in sleuf   | pen in gat             | geleiding               |
| 3 | pen in sleuf   | pen in gat             | 3 oplegpunten           |
| 4 | pen in sleuf   | star op tandriem       | geleiding               |
| 5 | m.b.v. spindel | geleiding              | geleiding               |

tabel 2: Verschillende manieren van positioneren.

Deze mogelijkheden zijn in een beslissingsdocument (bijlage 7) met elkaar vergeleken, waaruit volgde dat alternatief 3 het beste is. Hiervoor is dus gekozen.

### Het toestaan van de correctieve verplaatsing:

Om te kunnen naponen moet aan de produktdrager de mogelijkheid om te bewegen worden meegegeven. Een kleine slag van 0.5 mm. naar alle kanten voldoet in dit geval.

Er zijn verschillende mogelijkheden om dit te realiseren:

- een pal voor de opzet en loslaten tijdens het positioneren
- gebaseerd op wrijving, met veer voor benodigde wrijvingskracht
- met behulp van elastische elementen

Het nadeel van elastische elementen is dat er een trilling geïntroduceerd wordt. Uit de berekening in bijlage 12 volgt echter dat deze klein en hoogfrequent is en dus niet veel invloed heeft. Een ander nadeel van deze oplossing is dat het relatief veel inbouwruimte vergt. Voor de oplossing op wrijving geldt dat de problemen als gevolg van slijtage verminderd kunnen worden door een vlakke veer karakteristiek te kiezen. Dit vraagt wel om iets meer inbouwruimte. De oplossing van alternatief 1 heeft het nadeel van een wat

onrustige loop. In een beslissingsdocument zijn de mogelijkheden met elkaar vergeleken. Uiteindelijk is gekozen om met de produktdrager op elastische elementen door te gaan.

### Het positioneerconcept

Voor de aandrijving van de positioneerlichamen zijn er twee mogelijkheden:

- centraal
- per module

Het voordeel van centrale aandrijving is dat een enkelvoudige aandrijving goedkoper is. Bij vijf posities met npositionering zijn bijvoorbeeld maar twee geleidingen en één nok nodig. Een voordeel van positioneren per module is dat het instellen vantevoren op een proefstand kan gebeuren, wat tijdswinst oplevert. Een ander voordeel is dat de nauwkeurigheid door de module bepaald wordt. Wanneer er in uitzonderlijke gevallen een hogere nauwkeurigheid nodig is (bijvoorbeeld in het microngebied) hoeft slechts één zeer nauwkeurige module gebouwd te worden en kan nog steeds de relatief onnauwkeurige basislijnmachine gebruikt worden. Hier staat tegenover dat positionering per module waarschijnlijk iets duurder uitkomt. Verder is er een extra overbrenging nodig voor centrale positionering. Bij positionering per module wordt gebruik gemaakt van de reeds aanwezige schroefwieloverbrenging.

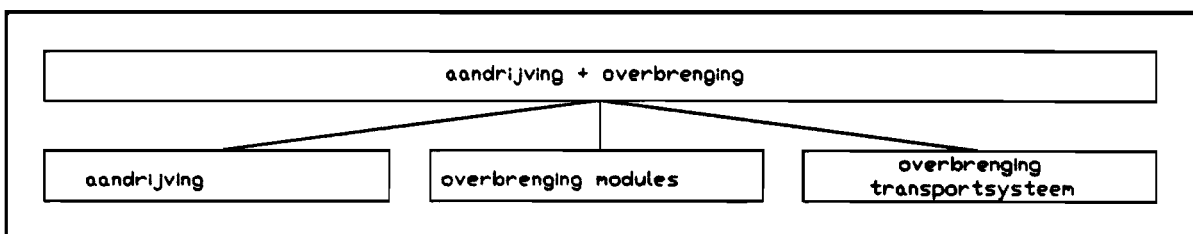
**conclusie:** Er wordt gekozen voor positionering per module.

## 3.3. Aandrijving en overbrenging

### 3.3.1. De indeling

- Functies:
- Het leveren van het benodigde vermogen
  - het overbrengen naar de modules
  - het overbrengen naar het transportsysteem

De indeling wordt dus (zie afbeelding 9):



*Afbeelding 9: indeling module aandrijving en overbrenging.*

De deelsystemen zullen hieronder verder worden uitgewerkt.

### 3.3.2. De aandrijving

Voor het leveren van het benodigd vermogen zijn er verschillende motoren mogelijk. In bijlage 10 zijn deze verschillende mogelijkheden met elkaar vergeleken en is er een selectie uit gemaakt. Hieruit volgde dat een asynchrone wisselstroommotor in dit geval het meest geschikt is.

### Dimensionering van de aandrijving

Om een motor te kiezen moet eerst het benodigd vermogen bekend zijn. Dit bestaat uit twee delen:

- het benodigd vermogen voor het produkttransport
- het benodigd vermogen voor de modules

De eerste kan worden uitgerekend. Hiertoe zijn met behulp van een spreadsheet voor een scheve sinus stap de hoeksnelheid en het moment als functie van de tijd uitgezet (zie bijlage 11). Het produkt hiervan is evenredig met het benodigd vermogen. De tweede is niet eenvoudig uit te rekenen. Om toch een uitspraak te kunnen doen over het benodigd vermogen voor een serie bewerkingsmodules is gekeken naar bestaande basismolens en aan de hand van maximaal toelaatbare momenten in de overbrengingen is een bovenschatting van het benodigd vermogen gemaakt. De resultaten van deze berekening zijn:

- $P_{tr} = 220 \text{ W}$ .
- $P_{mod} = 750 \text{ W}$ .

Dit levert dus  $P_{tot} = 970 \text{ W}$ . Omdat  $P_{mod}$  gedurende een ander deel van de cyclus geleverd moet worden dan  $P_{tr}$  kunnen we stellen  $P_{max} = 750 \text{ W}$ . Als we een veiligheidsfactor 2 in acht nemen levert dit:

$$P_{ben} = 1.5 \text{ kW}.$$

Het benodigd vermogen is hiermee vastgelegd. Het toerental kan nog gekozen worden.

### 3.3.3. De overbrenging naar de modules

De minimale steek van 160 mm. is afgeleid van de breedte van de bewerkingsmodules. Door echter de modules aan beide kanten van de transportlijn te plaatsen wordt de minimale steek gehalveerd. Voordelen hiervan zijn:

- meer ruimte in langsrichting voor de bewerkingsmodules
- kleinere steek levert beter dynamisch gedrag
- kortere machine bij zelfde aantal posities

Nadelen:

- aan twee kanten aandrijving voor de modules nodig
- zicht en bereikbaarheid nemen af.

De modules aan één kant met iedere keer een loze tussenstap is ook een mogelijkheid. Hiermee wordt de benodigde machinelengte bij een zelfde aantal posities natuurlijk

groter. In bijlage 7 zijn deze drie mogelijkheden getoetst, waaruit bleek dat de laatste mogelijkheid de beste is.

De aandrijving van de modules kan met schroefwielen, maar ook met wormkasten en koppelingen uitgevoerd worden. Na toetsing aan de criteria (zie bijlage 7) bleek de eerste oplossing de beste te zijn. Hierdoor hoeft de interface met de modules dus niet gewijzigd te worden.

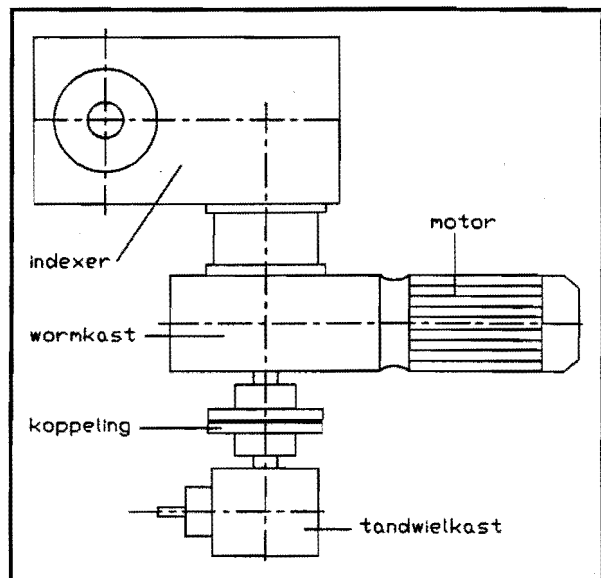
De overbrenging naar de modules kan zowel met een haakse tandwielkast op de langzame as (zie afbeelding 10) als met een tandriemoverbrenging vanaf de snelle as (zie afbeelding 11) gerealiseerd worden. Nadelen van de tandwielkast zijn de hogere kosten en de versnellende overbrengverhouding.

Een nadeel van de tandriemoverbrenging is dat er weinig ruimte voor is. Er is gekozen voor een tandriem, vanwege de eerder genoemde nadelen van de tandwielkast.

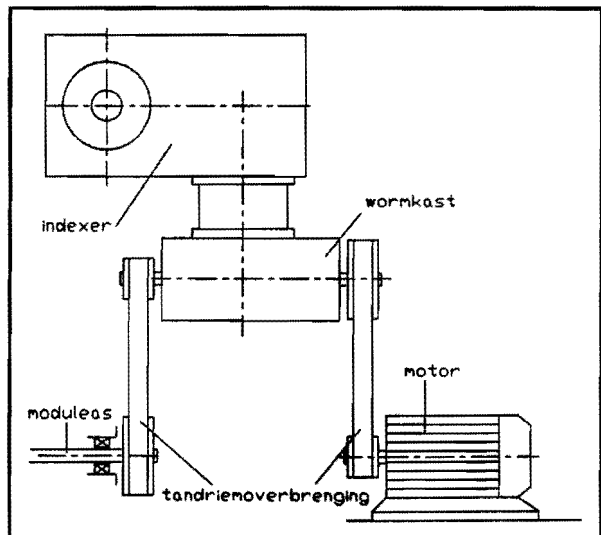
### 3.3.4. De overbrenging naar het transportsysteem

Het uitgaande motortoerental is 1440 omw./min. Het gevraagde werktoerental is echter  $\pm 60$  omw./min. De benodigde totale overbrengverhouding is dus  $i = 60 / 1440 = 1 : 24$ .

Er is gekozen voor een wormkast gekoppeld aan de indexer. Tussen de motor en deze wormkast kan een V-riem, een tandriem of geen overbrenging (motor direct aan wormkast) toegepast worden. Geen overbrenging heeft het voordeel van lage kosten en een hoge stijfheid. Een voordeel van een riemoverbrenging ertussen is een grotere flexibiliteit bijvoorbeeld met betrekking tot productiesnelheden. Er is gekozen voor een riemoverbrenging met  $i = 1:2$  samen met een wormkast  $i = 1:10$ . De totale overbrengverhouding komt hiermee op  $1:20$ . Om samen te kunnen werken met andere machines is een



Afbeelding 10: overbrenging moduleas met tandwielkast.



Afbeelding 11: overbrenging moduleas met tandriem.

gedefinieerd toerental -en dus synchroniteit met de motor- noodzakelijk. Het grote voordeel van een V-riem hier is dat hij meestal smaller is dan een tandriem en dus minder inbouwruimte vraagt. Ook is hij goedkoper. Om een brede toepasbaarheid te garanderen is gekozen voor de tandriem. De berekening op sterkte is te zien in bijlage 17.

### **3.4. Het onderstel**

Het frame kan opgebouwd worden uit profielen maar er kan ook gebruik worden gemaakt van een gegoten deel. Het voordeel van een gietframe is dat er bepaalde functies in kunnen worden geïntegreerd die anders moeilijker te realiseren zijn, bijvoorbeeld een oliereservoir voor smering van de schroefwielen. Ook heeft men zo een stijve en robuuste constructie. Een nadeel is dat er een mal moet worden gemaakt, wat éénmalig een relatief grote investering vraagt. Het beslissingsdocument is opgenomen in bijlage 7. Het gietframe kwam hierbij als beste uit de bus.



## 4. Het ontwerp van de basislijnmaschine.

### 4.1. De werking van de machine.

De kern van de machine is de tandriem met daarop gemonteerd de produkt dragers (zie tekening 1: hoofdontwerp basislijnmaschine, en tekening 2: samenstelling basislijnmaschine). De stuklijst bij tekening 2 is te zien in bijlage 13. De tandriem wordt rondgeleid over 4 kleine wielen: boven de bedplaat heen en onderlangs terug. De breedte van de tandriem is 50 mm. De contrôlebrekening op sterkte is te zien in bijlage 14. Hieruit blijkt dat de zekerheid voor deze riem 10 is. Dit houdt in dat de belastbaarheid van het systeem 10 maal zo hoog is als de optredende belastingen. De tandriem wordt stapsgewijs doorgezet door een Manifold indexer, gekoppeld aan een wormkast. Er is gekozen voor een Manifold indexeerunit omdat deze units goed blijken te voldoen, bijvoorbeeld op de kleinere basismolens. Ze zijn betrouwbaar en nauwkeurig. Omdat Philips een grote afnemer is gelden er ook hogere kortingen dan bij andere merken. De berekening van de grootte van de indexer is te zien in bijlage 15. De ingaande as van de wormkast is door middel van een tandriem gekoppeld met de motor. De koppeling met de aandrijfas van de modules wordt ook verzorgd door een tandriem. De berekeningen van deze tandriemen zijn te zien in bijlage 16 en 17. De modules worden aangedreven door middel van een schroefwieloverbrenging. De produkt dragers worden geleid op twee rails om "doorhangen" van de tandriem te voorkomen. Het positioneren gebeurt per bewerkingsmodule door middel van een extra module die gemonteerd kan worden op de standaardnokkenunit. Voor een beschrijving van deze module wordt verwezen naar het volgende hoofdstuk.

### 4.2. Constructieve aspecten.

#### Het spannen van de tandriem.

De voorspanning op de tandriem kan eenmalig vantevoren aangebracht worden en blijft daarna altijd gehandhaafd. Een verende spanner is dus niet nodig. Er is een stelmechanisme aangebracht, waarmee de achterste lagerstoel verplaatst kan worden totdat de juiste voorspanning is aangebracht en daarna geborgd. De voorspanning bedraagt 0.5 maal de maximale trekspanning in de riem is  $0.5 * 300 = 150 \text{ N}$ .

### **De produktdrager.**

De bovenplaat van de produktdrager heeft twee positioneergaten, met geharde bussen eringeperst, waarvan er één conisch is geslepen om overbepaaldheid te vermijden. De bussen steken aan de bovenkant een aantal millimeter uit en vormen zo gelijk de positionering voor het produktspecifieke deel van de drager. De elastische elementen worden vastgezet met boutjes, die daarna met loektite worden geborgd.

Om te zorgen dat de produktdragers bij de tandriemschijven door de bocht kunnen mogen de "pootjes" van de bovenplaat niet te lang zijn. Bij een vrije lengte van 25 mm. kunnen ze om de tandriemschijf lopen zonder elkaar te raken.

### **Afstellen van de tandriem op nominale positie.**

Om te zorgen dat de tandriem met de produktdragers goed afgesteld kan worden op de nominale posities, kan het aandrijf wiel over de uitgaande as van de indexer worden verdraaid, totdat de juiste positie is bereikt. Daarna kan het wiel worden vastgezet.

## **4.3. Modulaire opbouw van het frame.**

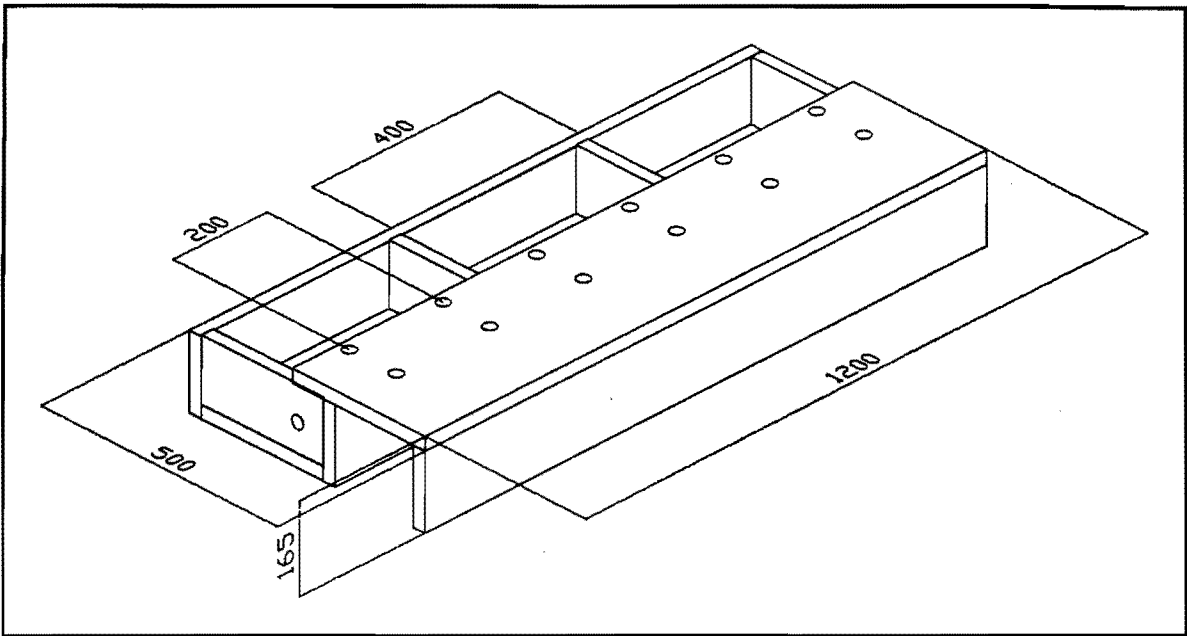
In het vorige hoofdstuk is gekozen voor een gegoten frame. Omdat een basislijnmaschine in verschillendevoudigheden geleverd moet kunnen worden zou dat inhouden dat er voor iedere uitvoering een aparte mal gemaakt zou moeten worden, wat hoge kosten met zich meebrengt. Om dit probleem op te vangen kan worden gekozen voor een modulaire opbouw van het frame. Er hoeft dan slechts één koppelbaar standaardelement ontworpen te worden, die men zoveel aan elkaar kan zetten als men maar wil, en twee eindelementen met de bevestigingsvlakken voor de indexer en de omkeerwielen. De eindschotten van de modules kan men eenvoudig aan elkaar bouten, waarbij afdichtringetjes toegepast moeten worden om lekken van olie te voorkomen.

Een bijkomend voordeel van deze eindschotten is dat ze gebruikt kunnen worden om de moduleas in te lagere. Men hoeft dan niet meer het binnenste zijvlak van de oliebak nauwkeurig na te bewerken om een goede uitlijning van de as te verkrijgen. De flenslagers zoeken zelf hun ideale positie en kunnen daarna tegen de schotten worden geschroefd. Om te voorkomen dat de constructie te slap wordt, wordt de as ook nog gelagerd op een aantal tussenschotten.

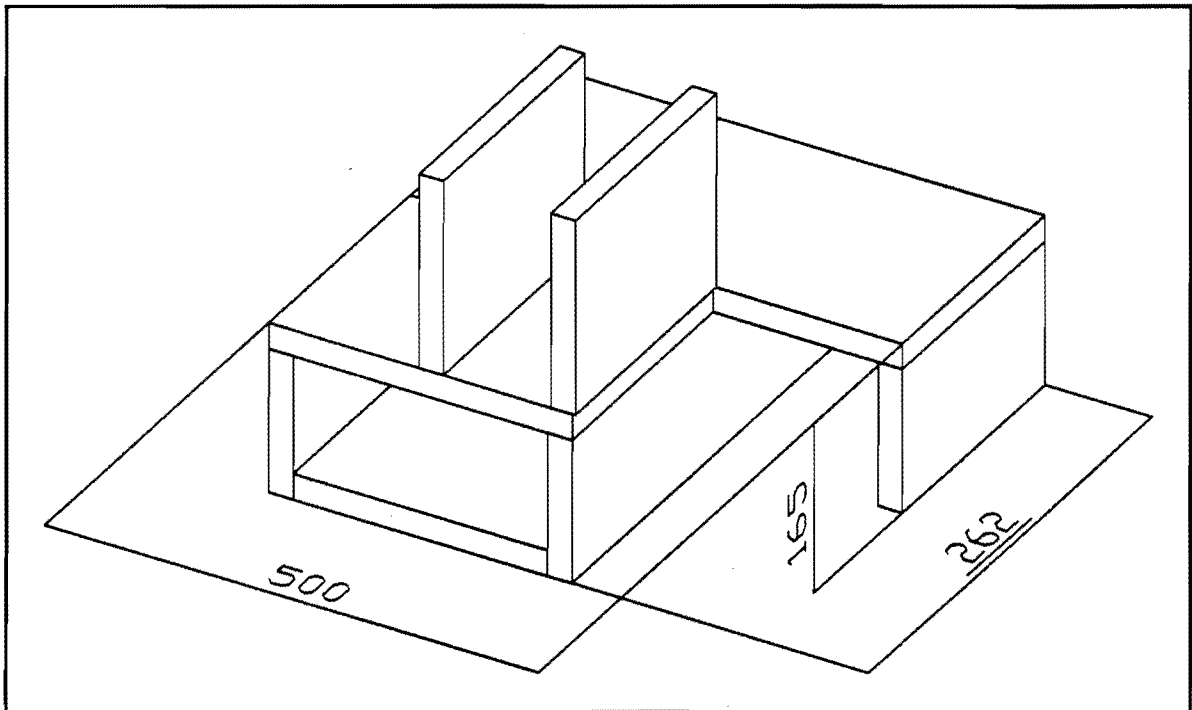
Het koppelbare element zou er dus als volgt uit kunnen zien (zie afbeelding 12). De vorm van het eerste eindelement is te zien in afbeelding 13. Het andere eindelement is te zien in afbeelding 14<sup>1</sup>

---

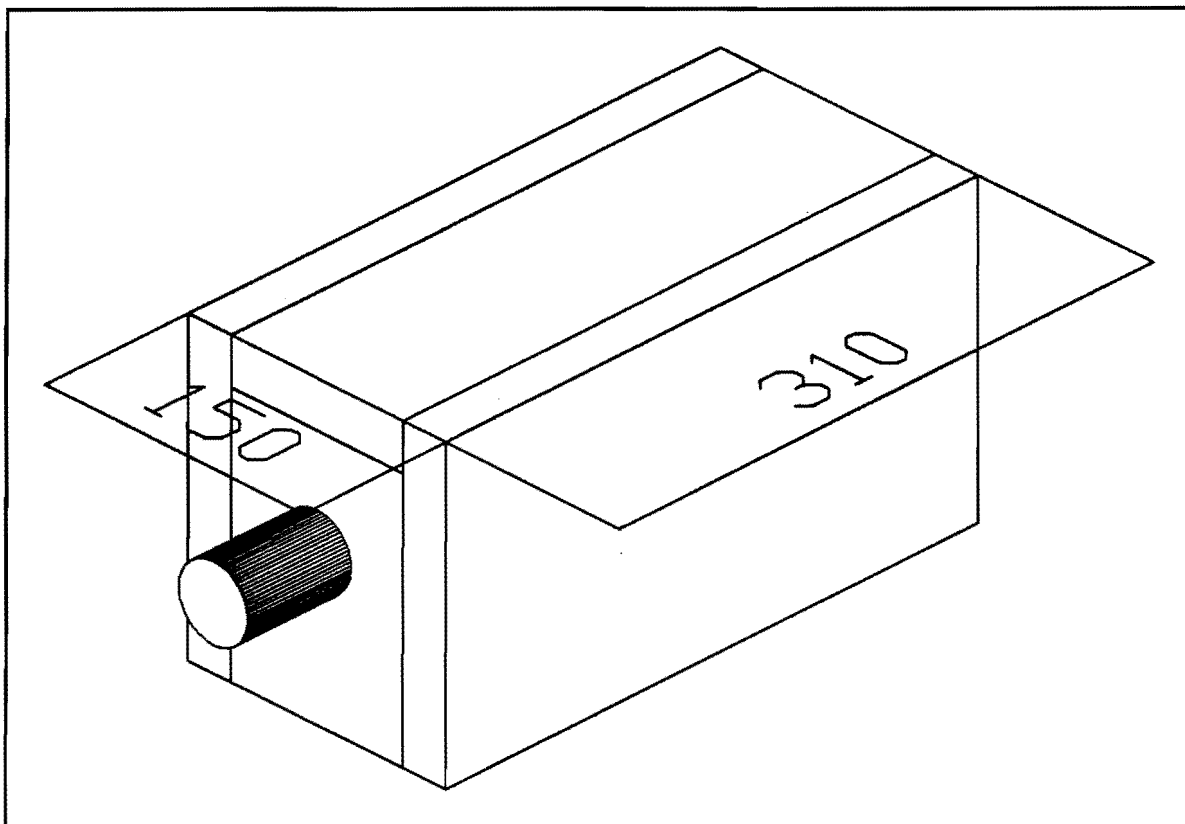
<sup>1</sup> Afrondingen aan het frame zijn niet weergegeven in de afbeeldingen.



Afbeelding 12: Vorm van modulair frame-element.



Afbeelding 13: Vorm van eerste indelement van modulair frame.



Afbeelding 14: Vorm van tweede eidelement van modulair frame.

## 5. Het ontwerp van de positioneermodule.

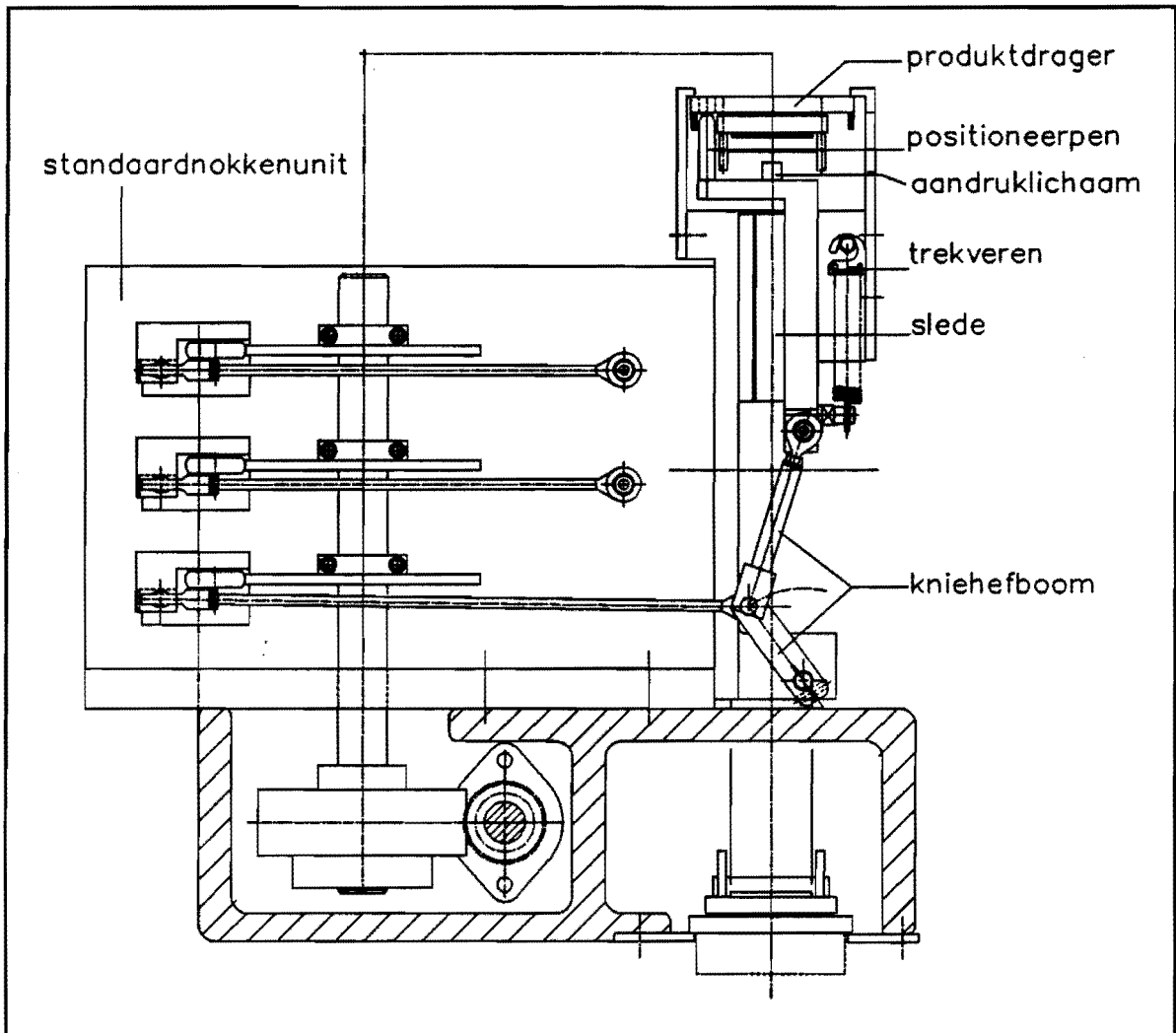
### 5.1. De oriëntatie

- Doel:** Het ontwerpen van een positioneereenheid, onafhankelijk van de basislijn-machine
- eisen:**
- het testen en afstellen van bewerkingsmodule met positioneermodule kan reeds op de proefstand gebeuren.
  - de module moet tevens te fixeren tijdens de bewerking.
  - nauwkeurigheid  $\pm 0.02$  mm.
  - gebruikmakend van de standaardnokkenunit
  - gedwongen uit
- wensen:**
- goedkoop
  - weinig inbouwruimte
  - weinig gevoelig voor slijtage
- Interfaces:** verbinding met standaardnokkenunit en benodigde ruimte : volgens tek. nr. 7222.185.99361
- benodigde ruimte voor produkttransport: volgens tek. nr 2. Dit is echter geen harde eis, eventueel kan nog teruggekoppeld worden naar het ontwerp van de lijnmaschine
  - Let op: aangenomen werkpunthoogte boven bedplaat = 400 mm !!

### 5.2. Het hoofdontwerp.

Om het bovenstaande te bereiken is de volgende oplossing bedacht (zie afbeelding 15 en tekening 3. De stuklijst bij tekening 3 is te zien in bijlage 18).

Twee afgeschuinde pennen lopen in een gat en een slobgat in de produktdrager. Er is een aandruklichaam dat de produktdrager tegen een aanslag aandrukt. De aanslag bepaalt de positie; het aandruklichaam leidt slechts de benodigde aandrukkracht door. De stoel waarop de pennen zitten is gemonteerd op een slede, die voor een praktisch wrijvingloze en spelingvrije geleiding zorgt. De aandrijving van de slede vanaf de nok wordt overgebracht via een trekstang (nog behorend bij de nokkenunit), en een kniehefboom. Om te zorgen dat de pennen altijd uit de produktdrager zijn tijdens het doorzetten, is de constructie gedwongen uit en dus verend in. Door de veer tussen de laatste schakel (de slede) en de vaste wereld te plaatsen worden tevens alle spelings uit het mechanisme getrokken. Voor de berekening van de veren wordt verwezen naar bijlage 19.



Afbeelding 15: Hoofdonwerp van de positioneermodule.

### 5.3. Constructieve uitwerking van het ontwerp:

#### - Aanbrengen voorspanning:

Om te zorgen dat de positie bij een verticale drukkracht gehandhaafd blijft moet de drager met een bepaalde voorspanning tegen de aanslag gedrukt worden. Dit vraagt om een zware veer en zorgt voor een hoge belasting van het mechanisme. Om een hoge verticale stijfheid te combineren met een niet al te hoge belasting van de rest van het mechanisme kunnen we gebruik maken van een kniehefboom of een roterend inkomende schakel.

#### - Afscherming

Omdat de module onder het werkpunt zit zal er gekeken moeten worden in hoeverre de produktdrager de module reeds afschermt en waar nog aanvullende vuilafschermende maatregelen nodig zijn.

**- Horizontale positionering**

Deze kan uit de pennen gehaald worden of uit de aanslag. Beide oplossingen hebben hun eigen voor- en nadelen. In tabelvorm:

|   |   |
|---|---|
| Horizontale nauwkeurigheid uit pennen         | Horizontale nauwkeurigheid uit aanslag          |
| kleine slag produktdrager (< 1 mm.) (+)       | grote slag produktdrager (> 10 mm.) (-)         |
| Nauwkeurigheid bepaald door bewegend deel (-) | Nauwkeurigheid bepaald door stilstaand deel (+) |
| Weinig ruimte aan bovenkant drager nodig (+)  | Meer ruimte aan bovenkant drager nodig (-)      |
| Loopnauwkeurigheid slede 10 $\mu$ m.          | Geen begrenzingen aan nauwkeurigheid            |

*tabel 3: Voor- en nadelen van beide methoden van horizontaal positioneren.*

Er is uiteindelijk gekozen voor de eerste oplossing om de volgende redenen:

- De grotere slag vraagt extra voorzieningen van het transportsysteem of van de produkt-drager.
- De nauwkeurigheid van de slede is hoog genoeg om te voldoen aan het eisenpakket. De constructie nog nauwkeuriger maken gaat slechts ten koste van de prijs en eenvoud van de constructie.

**- Nokkenunit op positioneermodule of positioneermodule tegen nokkenunit ?**

Voor de aandrijving van de positioneermodule kan men kiezen tussen gebruik maken van de onderste nok van de standaardnokkenunit waarop ook de bewerkingsmodule geconstrueerd wordt of een aparte nok *onder* de standaardnokkenunit van de bewerkingsmodule. In het tweede geval moet de afstand werkpunt-bedplaat dus worden vergroot met de hoogte van de onderste nokunit. De volgende tabel geeft de eigenschappen van beide oplossingen:

|   |   |
|---|---|
| Nokkenunit op positioneermodule                                   | Positioneermodule tegen nokkenunit  |
| Bestaande bewerkingsmodules zijn ook bruikbaar op lijnmachine (+) | Bestaande bewerkingsmodules zijn niet bruikbaar op nieuwe lijnmachine (-) |
| Koppeling standaardnokkenunit-schroefwielkast wordt verbroken (-) | Standaardnokkenunit en schroefwielkast blijven verbonden (+)              |
| De as wordt langer (-)  | As blijft zelfde lengte (+)   |

|  |  |
|--|--|
| Afstand werkpunt-bedplaat wordt 530 mm.                            | Afstand werkpunt-bedplaat blijft 400   |
| De voudigheid van de nokkenunit maakt niet uit voor de montage (+) | De voudigheid kan de montage beïnvloeden (niet altijd evenveel oppervlak)(-) |

*tabel 4: Voor -en nadelen van positioneermodule al dan niet als tussenstuk.*

Het verlengen van de as van de standaardnokkenunit (en dus afwijken van deze standaard) is voor Philips niet acceptabel. Het voordeel dat oude modules ook op de lijnmachine gebruikt kunnen worden valt dan weg. Dit gebeurt echter toch zeer sporadisch.

#### **- Aandrukken tegen de aanslag**

Het aandrukken tegen de aanslag kan op twee manieren gebeuren:

- met behulp van borsten op de inkomende pennen
- met behulp van een apart aandruklichaam, los van de pennen

Voordeel van de tweede oplossing is dat er een 3-punts aandrukking (statisch bepaald) is gerealiseerd, in plaats van de 4-punts aandrukking bij het aandrukken met de pennen. Omdat er in het midden aangedrukt moet worden (in verband met momenten op de drager) is het enige nadeel dat de drukkracht wordt doorgeleid door de tamelijk dunne pennetjes waarop de produktdrager staat. De toelaatbare drukkracht op deze pennetjes is echter zo groot (zie bijlage 12) dat dit toch geen problemen zal geven.

Het aandruklichaam kan verend of star aan de slede gekoppeld worden. In het geval van een starre koppeling zal de nokvolger loskomen van de nok, waardoor er dus een botsing optreedt aan het begin van de uitgaande slag. De invloed van deze botsing is onderzocht en de resultaten van deze analyse zijn te vinden in bijlage 20. Qua nauwkeurigheid en levensduur bleek het acceptabel om deze extra benodigde veer gewoon weg te laten, waardoor de constructie eenvoudiger kan blijven, en daardoor goedkoper en betrouwbaarder.

#### **- Montage**

De 2-zijdige aanslag uit één stuk (afbeelding 16) heeft het nadeel van moeilijke montage en demontage. Dit zou voorkomen kunnen worden door een enkelzijdige aanslag (afbeelding 17) met aandrukken aan één kant van de drager. De voordelen hiervan zijn:

De module kan in één keer worden gemonteerd en gedemonteerd, zonder dat er eerst iets losgemaakt hoeft te worden aan de module zelf.

- Aandrukken kan in het midden gebeuren (driepuntsklemming)

Nadelen zijn:

- Omdat de aanslag aan één kant zit zorgen krachten op het midden van de drager voor



buigende momenten, waardoor de verticale belastbaarheid sterk afneemt. Bij een 60 mm. brede aanslag bedraagt deze afname 69 %, bij een 100 mm. brede aanslag nog 55 %.

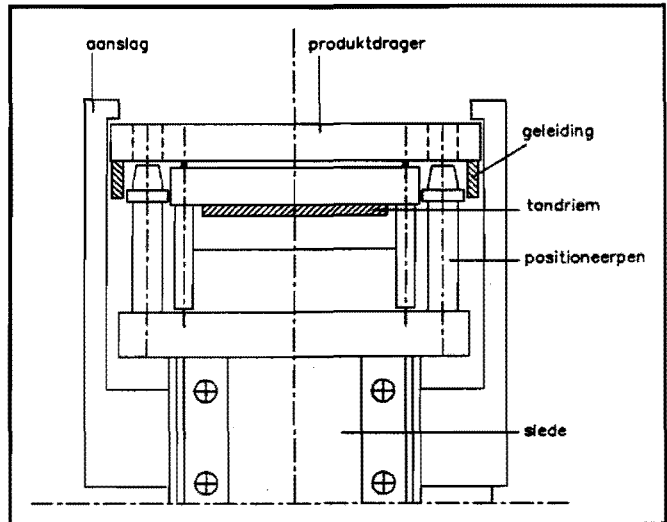
- De oplossing vraagt veel inbouwruimte, juist op een plaats waar deze ruimte eigenlijk voor de bewerkingsmodule zelf bedoeld is. Om deze redenen is deze optie niet gekozen. In de gekozen constructie zal voor de montage en demontage echter een eenvoudige oplossing gevonden moeten worden.

Om een redelijk eenvoudige montage toch mogelijk te maken is uiteindelijk gekozen voor een gedeelde aanslag, waarbij het buitenste deel op de machine tegen de positioneermodule wordt geschroefd, gepositioneerd door twee paspennen (afbeelding 18).

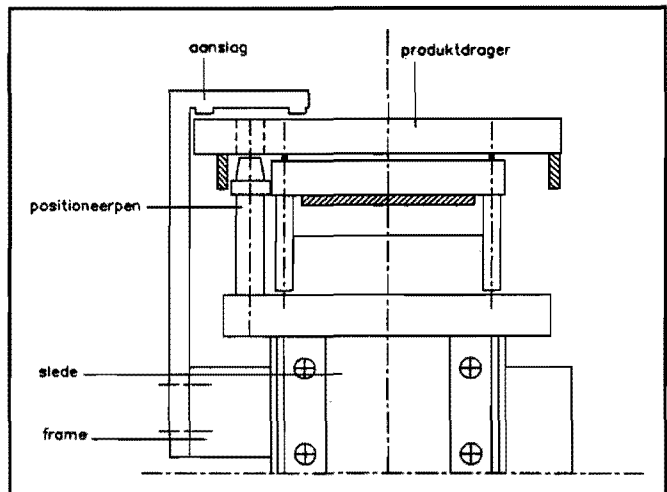
Hierdoor hoeft op de machine niet meer ingesteld te worden. De rechter positioneerpen is hiertoe verplaatst naar de linkerkant, waardoor aan de rechterkant van de produktdrager alleen nog de aanslag zit.

#### - Instelmogelijkheid en toleranties

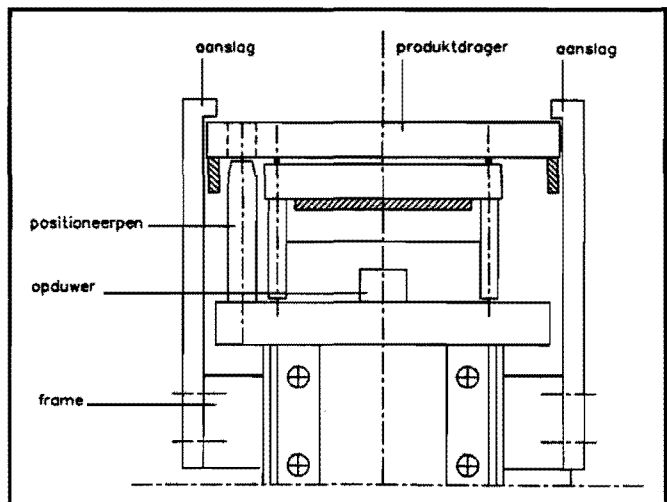
De bewerkingsmodules hebben altijd een instelbare slag, zowel qua slaglengte als eindpunt. Deze worden dan afgesteld ten opzichte van de positioneermodule. De positioneermodule zelf hoeft dus niet instelbaar te zijn. Wel moet hij met hoge nauwkeurigheid gemonteerd kunnen worden.



Afbeelding 16: 2-zijdige aanslag uit één stuk



Afbeelding 17: enkelzijdige aanslag



Afbeelding 18: Gedeelde aanslag

## 6. Specificaties van de lijnmaschine

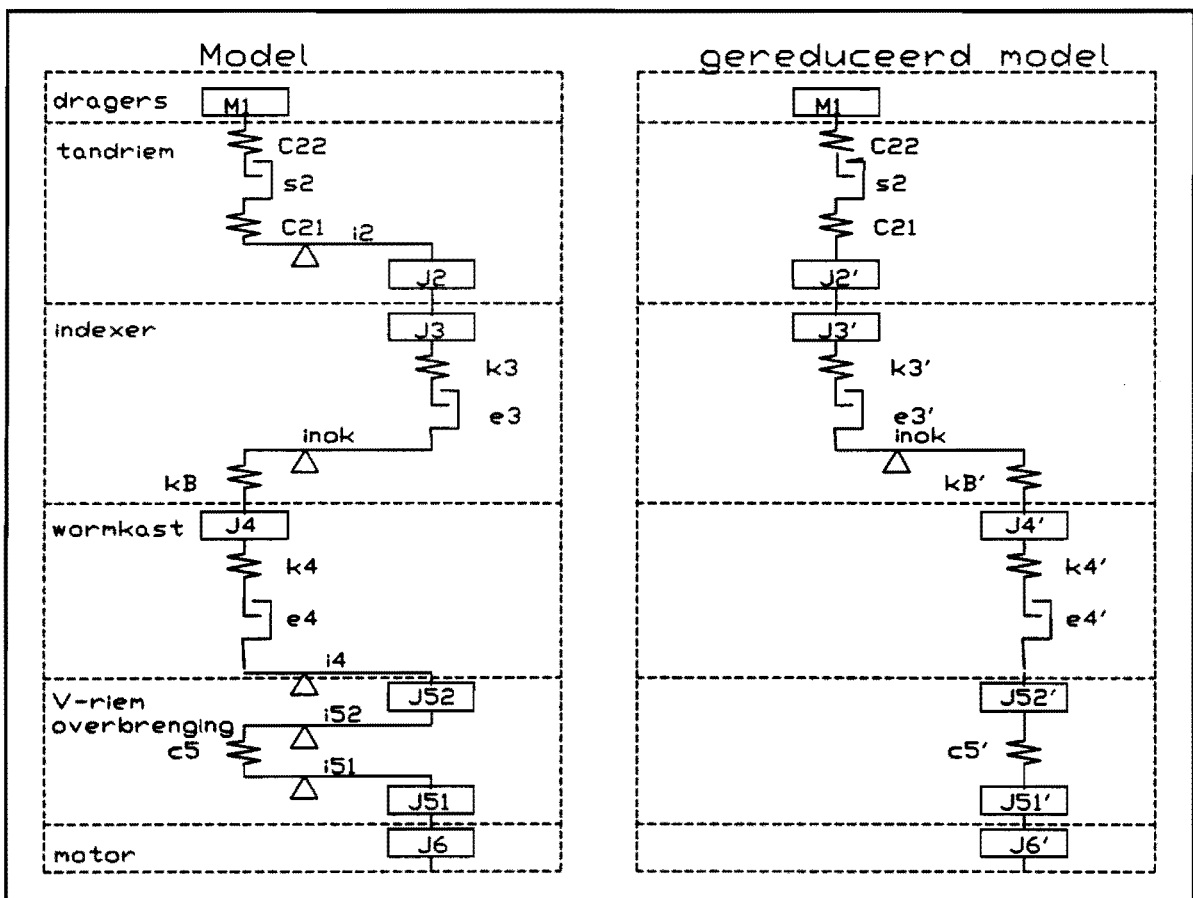
### 6.1. Inleiding

Om te controleren of aan de eisen is voldaan, zullen de belangrijkste eigenschappen van de machine berekend moeten worden. Dit zijn in ieder geval:

- nauwkeurigheid zonder en met naponpositioneren.
- de kostprijs van de lijnmaschine.
- de kostprijs van een positioneermodule.

### 6.2. De nauwkeurigheid zonder naponpositioneren.

Om de nauwkeurigheid van de lijnmaschine te bepalen moet er een dynamisch model van de machine worden opgesteld, van de produktdrager tot aan de motor. Dit model is te zien in afbeelding 19.



Afbeelding 19: Dynamisch model en gereduceerd model van produkttransport.

De waarden in het model zijn te zien in tabel 5. De overbrengverhoudingen moeten

vervolgens geëlimineerd worden. Het aldus ontstane gereduceerde model en de gereduceerde waarden zijn ook bijgevoegd.

| grootheid    | formule                    | waarde                     | gereduceerd               |
|--------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| $M_1$        | gewicht totale opbouw      | 30-120 kg.                 | 30-120 kg.                |
| $c_{22}$     | $c'/l*b/10 = 125e6/2.6*5$  | 2.4e6 N/m.                 | 2.4e6 N/m.                |
| $s_2$        | Uit constructiemap Philips | 0.2e-3 m.                  | 0.2e-3 m.                 |
| $c_{21}$     | $z_e*c_t*b/10$             | 1.3e7 N/m.                 | 1.3e7 N/m.                |
| $i_2$        | $r_{schijf} / l$           | 95.5e-3 m/rad.             | 1                         |
| $J_2$        | $4^{1/2}*\pi*r^4*h*\rho$   | 0.065 kgm <sup>2</sup> .   | 7 kg.                     |
| $J_3$        | Uit documentatie fabrikant | 0.010 kgm <sup>2</sup> .   | 1 kg.                     |
| $k_3$        | „                          | 9e4 Nm/rad.                | 1e7 N/m.                  |
| $\epsilon_3$ | „                          | 1.25e-4 rad.               | 1.2e-5 m.                 |
| $i_3$        | „                          | $i_{\text{box}}$           | -                         |
| $k_8$        | $G*I^* / l$                | 5.2e5 Nm/rad.              | 5.7e7 Nm/rad.             |
| $J_4$        | Uit documentatie fabrikant | 8.75e-3 kgm <sup>2</sup> . | 9.6e-1 kgm <sup>2</sup> . |
| $k_4$        | „                          | 28e3 Nm/rad.               | 3.1e6 Nm/rad.             |
| $\epsilon_4$ | „                          | 4e-3 rad.                  | 3.8e-4 rad.               |
| $i_4$        | „                          | 0.10                       | 1                         |
| $J_{52}$     | $1/2*\pi*r_2^4*h*\rho$     | 1e-2 kgm <sup>2</sup> .    | 1.1e2 kgm <sup>2</sup> .  |
| $i_{52}$     | $1/r_2$                    | 12.5 rad/m.                | 1                         |
| $c_5$        | Uit documentatie fabrikant | 1.2e5 N/m.                 | 8.4e6 Nm/rad.             |
| $i_{51}$     | $r_1 / l$                  | 40e-3 m/rad.               | 1                         |
| $J_{51}$     | $1/2*\pi*r_1^4*h*\rho$     | 6.2e-4 kgm <sup>2</sup> .  | 27 kgm <sup>2</sup> .     |
| $J_6$        | Uit documentatie fabrikant | 2e-2 kgm <sup>2</sup> .    | 877 kgm <sup>2</sup> .    |

tabel 5: grootheden uit het dynamisch model.

Nadat het gereduceerd dynamisch model is opgesteld kunnen met de geprogrammeerde

berekeningsmethode van DYMECH de eigentrillingstijd, de tijdconstante  $\tau$ , de stijfheidsfactor voor de aandrijving  $F_s$ , en de resulterende plaatsonnauwkeurigheid  $u_0$  bepaald worden. Vervolgens is naar de invloed van de spelingen in het model gekeken. Formules en waarden van deze grootheden zijn te zien in onderstaande tabel:

| grootheid   | $T_c$                           | $\tau$    | $u_0$     | $u_m$                       | $u_{tot}$             |
|-------------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------------------|
| formule     | $2 * \pi * \sqrt{(m_{eq}/c_c)}$ | $T_c/t_m$ | Uit tabel | $v_b * \sqrt{(m_{eq}/c_c)}$ | $u_0 + u_m + 1/2 s_u$ |
| massa (kg.) | [s]                             | [-]       | [mm.]     | [mm.]                       | [mm.]                 |
| 0.5         | 0.026                           | 0.094     | 0.025     | 0.15                        | 0.29                  |
| 1.0         | 0.037                           | 0.13      | 0.065     | 0.21                        | 0.39                  |
| 1.5         | 0.045                           | 0.16      | 0.12      | 0.26                        | 0.49                  |
| 2.0         | 0.052                           | 0.19      | 0.22      | 0.30                        | 0.63                  |

tabel 6: Enkele berekende grootheden met betrekking tot het dynamisch gedrag.

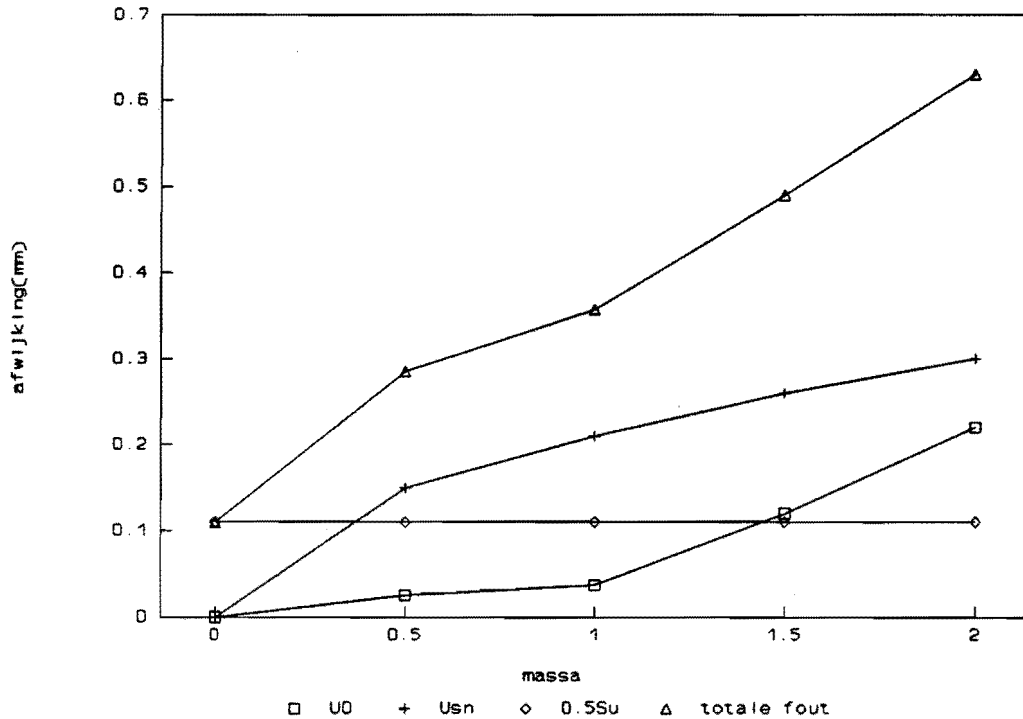
De uiteindelijke onnauwkeurigheid als functie van de massa van de produktdrager is gegeven in afbeelding 20.

Als schatting voor het gewicht van een produktdrager is gerekend met een massief blok Aluminium van 100\*80\*40 op het algemene deel. Voor de totale massa levert dit  $M = 1.2$  kg, met een  $u_{tot}$  van 0.42 mm. De absolute onnauwkeurigheid wordt ook nog negatief beïnvloed door de rek als gevolg van de voorspanning. Deze is echter wel constant in de tijd en de modules kunnen er dus op afgesteld worden. Omdat de maximaal optredende trekkracht in de riem  $\pm 300$  N. bedraagt, moet de voorspankracht ongeveer 150 N. zijn. Bij deze voorspankracht is de maximale uitwijking aan het eind van de riem ongeveer 0.3 mm. Deze speelt echter geen rol in de reproduceerbaarheid.

### 6.3. De nauwkeurigheid met naponpositioneren.

Om inzicht te krijgen in het dynamisch gedrag bij het positioneren en een voorspelling te kunnen doen met betrekking tot de uiteindelijke positioneer-nauwkeurigheid, kunnen we het inkomen van de pen in de produktdrager numeriek simuleren.

Voor de simulatie is gekozen voor het programma MicroCap. Dit oorspronkelijk elektronische programma kan de responsie op een bepaald ingangssignaal op iedere plaats in een elektrisch circuit bepalen. Vanuit de systeemkunde blijkt het mogelijk om mechanische en elektrische systemen met hetzelfde wiskundig model te beschrijven. De analyse van trillingsverschijnselen verloopt ook analoog. Hierdoor is het mogelijk om voor

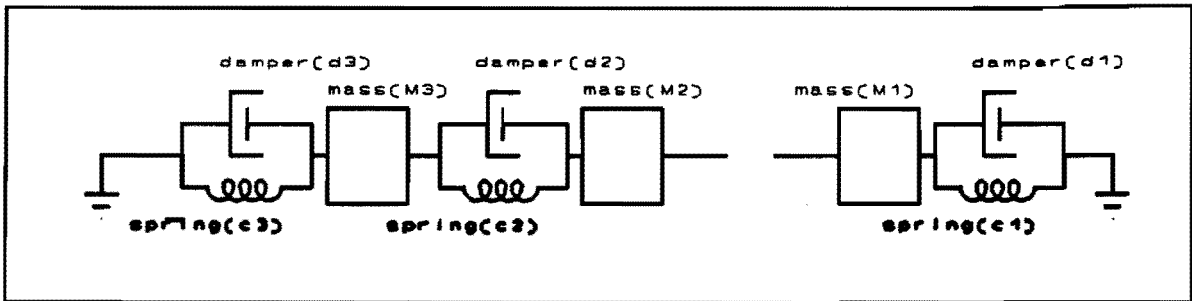


**Afbeelding 20:** Onnauwkeurigheid zonder naponen als functie van de massa.

mechanische componenten zoals massa's, veren en dempers, een macro te schrijven en met behulp van deze macros een mechanisch systeem in te voeren. Hierop kan vervolgens dezelfde dynamische analyse worden toegepast als normaal op een elektrisch systeem.

#### Het model:

Voor het simuleren moet er dus eerst een dynamisch model worden opgesteld. De situatie is de volgende: De produktdrager op de vier dunne pennetjes moet gepositioneerd worden door de positioneerpen. Deze komt omhoog en dringt een relatieve verplaatsing op tussen de produktdrager en de pen. De produktdrager heeft een bepaalde (lage) stijfheid en zal dus meer of minder goed de gedwongen beweging kunnen volgen. De positioneerpen heeft zelf ook een eindige stijfheid en zal dus ook meetrillen. De pen zit gemonteerd op een blok dat ook mee kan trillen. Dit blok is gemonteerd op de slede. Deze is in horizontale richting zo stijf dat dit als vaste wereld wordt aangenomen. Dit levert het volgende dynamisch model (zie afbeelding 21):



Afbeelding 21: Model van het positioneren van de drager.

De waarden in het model zijn:

|                          |                                     |                            |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| $M_1 = 1.2 \text{ kg.}$  | $c_1 = 1.6 \cdot 10^4 \text{ N/m.}$ | $d_1 = 5.5 \text{ Ns/m.}$  |
| $M_2 = 0.02 \text{ kg.}$ | $c_2 = 1.4 \cdot 10^7 \text{ N/m.}$ | $d_2 = 21.5 \text{ Ns/m.}$ |
| $M_3 = 0.10 \text{ kg.}$ | $c_3 = 1.0 \cdot 10^7 \text{ N/m.}$ | $d_3 = 40.0 \text{ Ns/m.}$ |

Voor de berekening van de waarden wordt verwezen naar bijlage 21.

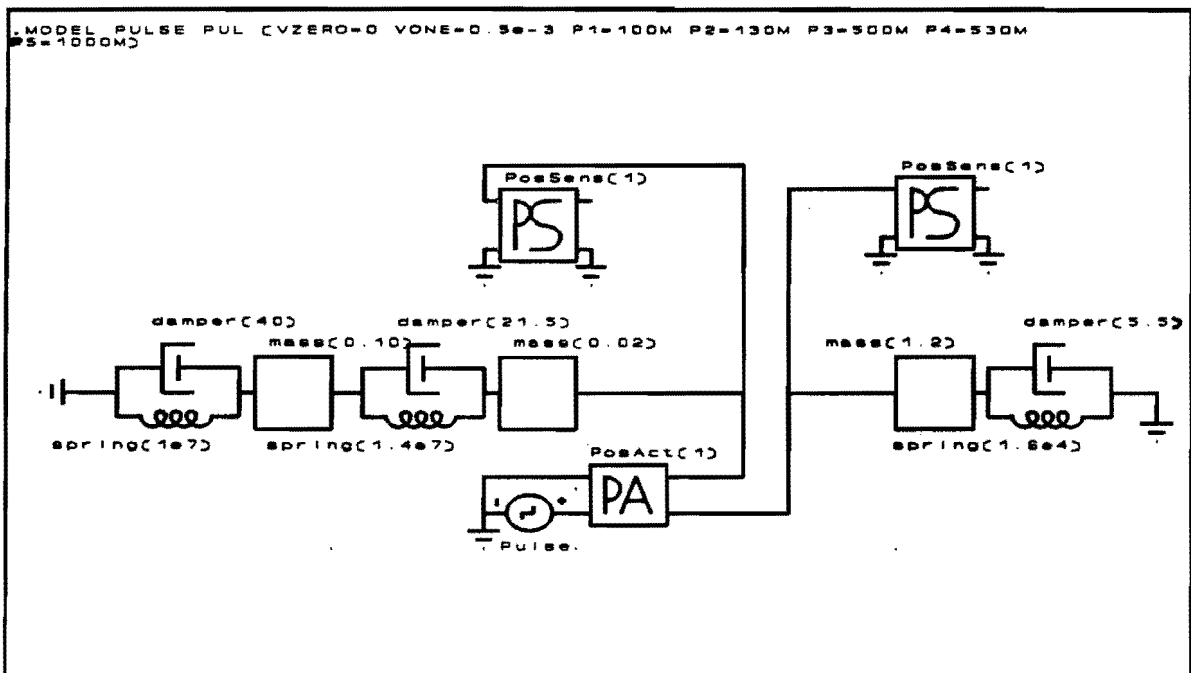
#### De simulatie:

Tussen  $M_1$  en  $M_2$  bestaat een positieverschil dat gecorrigeerd moet worden. Als ingaand signaal moet dus een (bijvoorbeeld pulsvormige) relatieve verplaatsing tussen  $M_1$  en  $M_2$  worden ingevoerd. De horizontale snelheid bij het inkomen van de pen is 10 mm/s. Omdat de drager niet stilstaat, maar trilt bij het inkomen van de positioneerpen, wordt de botssnelheid groter dan de nominale waarde. De extra component van de botssnelheid volgt uit de resultaten van de vorige paragraaf:

$$v'_{\text{bot}} = (u_0 + u_{\text{sn}}) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{t_m} = (0.08 + 0.23) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{0.28} = 7 \text{ mm/s.}$$

Dit geeft een totale botssnelheid van 17 mm/s. De verplaatsing wordt ingevoerd met behulp van een positie-actuator, die een zelf te kiezen puls afgeeft. Als uitgaand signaal zijn we geïnteresseerd in de verplaatsing van de pen of de drager als functie van de tijd. Om deze te kunnen bepalen moet er dus een positie-sensor worden gekoppeld aan  $M_1$  of  $M_2$ . Het totale schema dat hiermee ontstaat is te zien in de volgende figuur.

De maximale plaatsafwijking van de produktdrager is 0.5 mm. De grootte van de correctieslag is dus maximaal 0.5 mm. Er is een pulsfunctie gemodelleerd. Dit is een worst-case aanname. De scheve sinus zal altijd een beter resultaat geven. De responsies van beide massa's kunnen nu worden opgemeten aan de uitgangen van de positie-sensoren. De resultaten hiervan zijn te zien in bijlage 22. Afhankelijk van het moment waarop de produktdrager tegen de aanslag wordt gedrukt hebben de pennen nog een bepaalde resttrilling. De amplitude op dat moment bepaalt de maximale waarde van de plaatsfout als gevolg van de botsing.



Afbeelding 22: Schema van het totale model

#### Controle op eigenfrequentie:

Om de betrouwbaarheid van de gegevens uit de computersimulatie te testen kan de optredende frequentie worden vergeleken met de theoretische ongedempte eigenfrequentie van het systeem. Deze bedraagt:

$$\omega_e = \sqrt{\frac{c_a}{m_{tot}}} = \sqrt{\frac{5.8 \cdot 10^6}{1.3}} = 2112 \text{ rad/s.}$$

$$\frac{1}{c_a} = \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} \rightarrow c_a = 5.8 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Uit de simulatie volgt een eigenfrequentie van:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{3 \cdot 10^{-3}} = 2094 \text{ rad/s.}$$

Een iets lagere waarde is logisch vanwege de aanwezige demping en resultaat en theorie zijn dus goed met elkaar in overeenstemming.

#### Andere bronnen van afwijkingen:

Uit de grafieken van bijlage 22 volgt dat de maximale dynamische plaatsafwijking  $6 \mu\text{m}$  bedraagt. Dit is echter niet de enige bron van afwijkingen. Een andere invloed op de

totale reproduceerbaarheid is de passing tussen positioneerpen en gat. Deze is maximaal  $\pm 12 \mu\text{m}$  (bij passing h6/H7). De totale reproduceerbaarheid wordt dus  $\pm 18 \mu\text{m}$ . Er zijn nog wel andere bronnen van plaatsafwijking zoals de looponnauwkeurigheid van de slede. Deze beïnvloeden de reproduceerbaarheid echter niet.

### Optredende krachten:

Nu de verplaatsing als functie van de tijd is vastgelegd kunnen we heel eenvoudig de optredende contactkrachten berekenen. Voor de versnelling geldt dan:

$$a_{\max} = v_b \cdot \omega_e = 17 \cdot 10^{-3} \cdot 2100 = 36 \text{ m/s}^2$$

Wat een maximale dynamische kracht oplevert van:

$$F_{\max, \text{dyn.}} = m \cdot a_{\max} = 1.2 \cdot 36 = 43 \text{ N.}$$

De statische kracht kan worden bepaald uit een stelsel van 3 vergelijkingen, namelijk:

$$u_1 \cdot c_1 = F_{\text{stat}}$$

$$u_2 \cdot c_a = F_{\text{stat}}$$

$$u_1 + u_2 = 0.5 \cdot 10^{-3}$$

Dit levert dan:

$$u_1 = 0.4986 \text{ mm.}$$

$$u_2 = 0.0014 \text{ mm.} \quad \text{en}$$

$$F_{\text{stat}} = 8 \text{ N.}$$

Voor de totale maximale kracht wordt dus gevonden:

$$F_{\max, \text{tot.}} = F_{\max, \text{dyn.}} + F_{\text{stat.}} = 43 + 8 = 51 \text{ N.}$$



#### **6.4. De kostprijs van de lijnmaschine**

Om te bepalen of de ontworpen machine inderdaad concurrerend is met de reeds op de markt aanwezige lijnmachines, zal er een kostprijs vastgesteld moeten worden. Voor de inkoopdelen en standaardonderdelen kan men eenvoudig de prijzen opvragen. Voor de maaddelen is dit wat moeilijker. Er is daarom contact opgenomen met het offerteburo vande Machinefabrieken van Philips voor het bepalen van de kostprijzen voor de maaddelen en het schatten van de montagekosten. Dit gaf voor de lijnmaschine zonder positioneermodules een kostprijs van f 37.000,-. De opbouw van deze kostprijs is te zien in bijlage 23:

#### **6.5. De kostprijs van de positioneermodule.**

Ook voor positioneermodule is de kostprijs bepaald. Hieruit volgde dat iedere na te positioneren module f 3.000,- extra kost. De opbouw van deze kostprijs is te zien in bijlage 24.

## 7. Conclusies en aanbevelingen.

De doelstelling van de opdracht was om een basislijnmachine te ontwerpen, passend binnen het modulaire bouwsysteem van Philips Lighting. Dit is gebeurd door eerst de totale machine op te delen in subsystemen en voor ieder subsysteem een aantal mogelijke oplossingen te genereren. Vervolgens is voor ieder subsysteem de beste oplossing geselecteerd. Al deze deeloplossingen zijn vervolgens geïntegreerd in een ontwerp tot op samenstellingsniveau.

De ontworpen machine bestaat uit een tandriem voor het produkttransport en een as met schroefwielen voor de aandrijving van de bewerkingsmodules. Het naponen gebeurt met een op de bewerkingsmodule te monteren positioneereenheid. Dit was noodzakelijk om te zorgen dat iedere module nog steeds onafhankelijk afgesteld en getest kan worden. Het frame is modulair opgebouwd en bestaat uit één of meer standaardelementen voor de montage van 6 bewerkingsmodules per element en twee eidelementen voor de montage van de aandrijving en het transportsysteem.

Eén van de eisen was dat de machine concurrerend moest zijn met de huidige inkoopmachines van Philips. Om te toetsen of aan deze doelstelling was voldaan is een aantal belangrijke criteria van de machine berekend, namelijk de nauwkeurigheid met en zonder naponen, de kostprijs van de lijnmachine en de kostprijs per positioneereenheid.

Hieruit bleek dat de geëiste nauwkeurigheid van  $\pm 0.02$  mm. gehaald wordt. De kostprijs van de lijnmachine ligt onder die van de inkoopmachines. Met de benodigde naponeneenheden erbij inbegrepen komt de prijs echter in dezelfde orde grootte als die van de inkoopmachines.

Verder is de ontworpen machine op een aantal punten verbeterd ten opzichte van de inkoopmachines; het ontwerp is minder slijtagegevoelig en het produkttransport hoeft niet gesmeerd te worden. Hierdoor zullen de onderhoudskosten lager liggen.

Al met al kan geconcludeerd worden dat het met dit concept mogelijk is een machine te bouwen die qua prijs gelijkwaardig is aan de inkoopmachines, maar met twee voordelen ten opzichte van de inkoopmachines:

- De machine past binnen het modulaire bouwsysteem.
- De machine vraagt minder onderhoud.

Het verdient dus aanbeveling om het ontwerp verder uit te ontwikkelen en toe te voegen aan het programma van basiselementen.

## Literatuurlijst.

Van Bragt, J.M., Onderwerpen college bedrijfsmechanisatie. dictaat T.U.E. nr.4639.

Van Bragt, J.M., Projectstrategie. dictaat T.U.E. nr.4679, 1989.

Kok, J.J., Werktuigkundige regeltechniek 1. dictaat T.U.E. nr.4592, 1985.

Koster, M.P., Constructieprincipes. dictaat T.U.E. nr.4007, 1990.

Koster, M.P., Dynamisch gedrag van constructies en mechanismen. dictaat T.U.T., 1985.

PBNA., Poly-technisch zakboekje. 42<sup>e</sup> editie, 1987.

Philipsmap LT-11: bouwsystemen voor produktiemachines.

Standaardisatiecomm. M, Constructiemap.

Vakgroep W.O.P., Tekenhandleiding voor de werktuigbouwkunde. dictaat T.U.E. nr.4542, 1985.

Vakgroep W.O.P., Ontwerpkunde deel1: methodisch ontwerpen. dictaat T.U.E. nr.4527, 1987.