# Parkeren zonder parkeerplaats

**Een parkeeroplossing voor de schamelwagen**

**Scriptie van**
**Johan Vermeer**



# Parkeren zonder parkeerplaats

**Een parkeeroplossing voor de schamelwagen**

**Johan Vermeer**
**09020799**
**Haagse Hogeschool, TIS Delft**
**HBO Werktuigbouwkunde**

**De Lier**
**7 juni 2013**

# Voorwoord

Na ruim drie jaar te studeren aan de *Haagse Hogeschool* wil ik dit jaar afstuderen als werktuigbouwkundig ingenieur. Om dit te bereiken heb ik een scriptie geschreven met de kennis die ik de afgelopen jaren tijdens mijn studie, stages en werk heb opgedaan. Deze kennis heb ik aangevuld met de vele dingen die ik bij *Robur* heb geleerd. Als stagiair was ik van 5 februari 2013 tot en met 7 juni 2013 fulltime aan de slag bij dit bedrijf.

Deze scriptie is geschreven voor *Robur* en voor de heer G.P. van Gils, de heer A.J. Boogert en de heer P. Hörchner van de *Haagse Hogeschool.*

Ik wil iedereen van *Robur* bedanken voor het bieden van deze gezellige en leerzame stage. In het bijzonder wil ik Erik Vreugdenhil, Sylvain van Paassen en Jan van Staalduinen hartelijk danken voor de begeleiding bij deze afstudeerstage. Ook de heer G.P. van Gils en de heer E.F. Erdurcan wil ik bedanken voor de ondersteuning vanuit school.

De Lier, juni 2013

# Inhoudsopgave

**VOORWOORD** ..... **3**

**INHOUDSOPGAVE** ..... **4**

**SAMENVATTING** ..... **5**

**STRUCTUUR VAN HET RAPPORT** ..... **6**

**VERKLARENDE WOORDENLIJST** ..... **7**

**SYMBOLENLIJST** ..... **8**

**1. PROBLEEM DEFINIËRENDE FASE** ..... **9**

1.1. BEDRIJFSPROFIEL ..... 9
1.2. OPDRACHTOMSCHRIJVING ..... 10
1.3. SITUATIEBESCHRIJVING ..... 12
1.4. PAKKET VAN EISEN EN WENSEN ..... 16

**2. WERKWIJZE BEPALENDE FASE** ..... **19**

2.1. LITERATUURSTUDIE ..... 19
2.2. DOEL EN FUNCTIE ..... 21
2.3. MORFOLOGISCH OVERZICHT ..... 24
2.4. CONCEPTEN ..... 25
2.5. MULTI CRITERIA ANALYSE ..... 27

**3. VORMGEVENDE FASE** ..... **30**

3.1. PRIMAIRE FUNCTIE ..... 30
3.2. BELASTING EN CAPACITEIT: HET HIJSMECHANISME ..... 34
3.3. BELASTING EN CAPACITEIT: HET FRAME ..... 40
3.4. BELASTING EN CAPACITEIT: HET KLAPMECHANISME ..... 42
3.5. VEILIGHEID ..... 45
3.6. ONDERHOUD ..... 48
3.7. OMGEVING ..... 51
3.8. ELEKTRONICA ..... 52
3.9. PRODUCTIE, ASSEMBLAGE EN MONTAGE ..... 56
3.10. KOSTEN ..... 59

**4. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN** ..... **62**

4.1. CONCLUSIE ..... 62
4.2. AANBEVELINGEN ..... 62

**LITERATUURLIJST** ..... **63**

# Samenvatting

*Robur* is een klein bedrijfje in De Lier op het industrieterrein ‘De Leehove’. Het bedrijf ontwerpt en bouwt machines voor de glastuinbouw. De voltooide machines worden met een aanhangwagen naar de klanten gebracht.

Het bedrijf kampt al een tijd met ruimtetekort. De aanschaf van een nieuwe grote aanhangwagen heeft dit probleem verergerd. De aanhangwagen staat in de werkplaats wanneer daar ruimte beschikbaar is. Anders staat de wagen buiten, waar deze roest en snel beschadigd raakt. Daarnaast kan deze buiten alleen geparkeerd worden in een brandgang; dit mag natuurlijk niet. Om hoge onderhoudskosten en brandveiligheidsproblemen te vermijden wil *Robur* de aanhangwagen op een veilige, gebruiksvriendelijke en vooral ruimtebesparende plek in de werkplaats stallen.

In een functieanalyse komt naar voren dat er eigenlijk maar twee opties zijn: stallen op hoogte en stallen beneden vloerniveau. Bij het stallen op hoogte moet er rekening worden gehouden met een bovenloopkraan en een magazijnstelling; er is dus maar beperkte ruimte. Uit de twee mogelijkheden zijn vier concepten ontstaan. In de multi criteria analyse zijn de concepten aan de functionele en fabricage eisen getoetst. Het concept dat het hoogste scoort bestaat uit twee hijsarmen welke de aanhangwagen aan vier hijsbanden ophijst.

Na diverse berekeningen en keuzematrices is een ontwerp gemaakt. De ‘aanhangwagenkraan’ bestaat uit een frame met een hijsinrichting en een wegklap-mechanisme. Het wegklap-mechanisme is benodigd omdat anders de bovenloopkraan in de werkplaats van *Robur* wordt belemmerd. De hijsinrichting bevat een motorreductor van 1,5 kW met lagers, kettingkoppelingen, transmissie- en haspelassen.

Het ontwerp van de aanhangwagenkraan voldoet aan de geldende richtlijnen. Met onder andere de eindige elementen methode, asdiameter- en knikberekeningen is gecontroleerd of de onderdelen in het ontwerp bestand zijn tegen de optredende (wisselende en sprong-) belasting.

Bij het ontwerpen van de aanhangwagenkraan is rekening gehouden met de fabricage, assemblage, montage en het toekomstige onderhoud. Ook is er gekeken naar de PLC-aansturing en een bedradingschema.

De kosten voor een aanhangwagenkraan is ongeveer 20.000 euro. Dit is ruim vier keer meer dan aanschafprijs van de aanhangwagen. Toch kan de aanhangwagen rendabel zijn. Hiervoor moet *Robur* de vrijgekomen werkplaats ruimte omzetten in extra winst.

# Structuur van het rapport

Een ontwerpproject bestaat uit drie fasen; de probleem definiërende, de werkwijze bepalende fase en de vormgevende fase.[1] Dezelfde structuur is gebruikt in dit rapport. De overige rapportonderdelen zijn volgens de norm uit *Rapport over rapporteren*.[2]

**Hoofdstuk 1. Probleem definiërende fase**
In de inleidende fase wordt het bedrijf en de opdracht besproken. Er wordt een beschrijving gegeven van de locatie waar de ontworpen constructie zal komen te staan. Ten slotte wordt het pakket van eisen en wensen samengesteld.

**Hoofdstuk 2. Werkwijze bepalende fase**
In de werkwijze bepalende fase van het project wordt bepaald hoe het ontwerp moet gaan werken. Allereerst wordt gekeken naar bestaande oplossingen in de literatuurstudie. Daarna wordt met behulp van een functieanalyse, een morfologisch overzicht en de multi criteria analyse een werkingsprincipe gekozen. Het resultaat van de werkwijze bepalende fase is een principeschets die (zo veel mogelijk) voldoet aan het pakket van eisen.

**Hoofdstuk 3. Vormgevende fase**
In de vormgevende fase van het project wordt het concept dat bij de multi criteria analyse het beste scoorde uitgewerkt. De structuur met de acht categorieën die in het pakket van eisen en wensen is gebruikt, wordt in deze fase opnieuw gebruikt voor een volledige en overzichtelijke ontwerpbeschrijving. Het resultaat van deze fase is een volledig onderbouwd ontwerp.

**Hoofdstuk 4. Conclusie en aanbevelingen**
In de conclusie en aanbevelingen zal de invulling van het pakket van eisen en wensen worden behandeld.

[1] Bron: Grit, R. *Projectmanagement*
[2] Bron: Hoogland, W., Dik, R. *Rapport over rapporteren*

# Verklarende woordenlijst

| Woord | Omschrijving |
|---|---|
| *Aandrijfas* | Een as die belast wordt met zowel een wringend als een buigend moment. Het buigend moment wordt veroorzaakt door een last op de as. |
| *AISC* | *American Institute of Steel Construction;* vereniging van de Amerikaanse staal en constructie-industrie. Deze organisatie heeft onder andere richtlijnen voor knikberekening gemaakt. |
| *Balk* | Element welke aan beide uiteinden momenten op kan vangen. |
| *Eindige elementen methode* | Een rekenmethode waarbij door middel van matrixrekenen interne krachten en knooppuntverplaatsingen kunnen worden berekend. |
| *Fabricage* | Stafmateriaal verspanen en/of buigen tot een onderdeel van een machine. |
| *IP-Code* | *Ingress Protection code;* code voor het binnendringen van water en voorwerpen in (elektrische) componenten. |
| *Koppelen* | Een mechanische verbinding leggen tussen de aanhangwagen en de constructie. |
| *Machinerichtlijn* | Europese richtlijn voor de machine-industrie die regels stelt aan de veiligheid van machines. |
| *Motorreductor* | Een vaste combinatie van een motor met tandwielkast. |
| *Multi criteria analyse* | Toetsingsmethode waarbij concepten aan de variabele eisen worden getoetst. |
| *Nabewerken* | Losse, gefabriceerde onderdelen behandelen door een corrosiewerende laag op het materiaal aan te brengen. |
| *Positioneren* | Het verplaatsen van de aanhangwagen naar de stalpositie. |
| *Reductorverhouding* | De verhouding tussen het toerental van de motor en het toerental van de uitgaande as van de reductor. |
| *Schamelwagen* | Aanhangwagen waarbij de wielen aan de uiteinden zijn gemonteerd; bedoelt voor grote en lange ladingen. |
| *SFC* | *Sequential Function Chart*; diagram/programmeertaal met commando's en voorwaarden van een geautomatiseerd proces. |
| *Transmissieas* | Een as welke alleen een wringend moment ondervind. Het gewicht van de as wordt verwaarloosd. |

# Symbolenlijst

| Symbool | Betekenis | Eenheid |
|---|---|---|
| **a** | Versnelling | $m/s^2$ |
| **A** | Oppervlaktedoorsnede | $m^2$ |
| **d** | Dikte | m |
| **D** | Diameter | m |
| **D** | Dwarskracht | N |
| **E** | Elasticiteitsmodulus | Pa |
| **f** | Krachtenvector | N en Nm |
| **F** | Kracht | N |
| **g** | Zwaartekrachtversnelling | $m/s^2$ |
| **H** | Hoogte | m |
| **I** | Oppervlaktetraagheidsmoment | $m^4$ |
| **J** | Massatraagheidsmoment | $kg.m^2$ |
| **K** | Stijfheidsmatrix | - |
| **L** | Lengte | m |
| **m** | Massa | kg |
| **M** | (Buigend)moment | Nm |
| **n** | Toerental | omw/min |
| **N** | Normaalkracht | N |
| **t** | Tijdsduur | s |
| **T** | Koppel | Nm |
| **u** | Verplaatsingsvector | m en rad |
| **v** | Snelheid | m/s |
| **w** | Aantal wikkelingen | - |
| **W** | Weerstandsmoment tegen buigen | $m^3$ |
| **y** | Uiterste vezelafstand | m |
| **α, β, ϕ** | Hoek | radialen |
| **θ** | Hoek | graden |
| **μ** | Wrijvingcoëfficiënt | - |
| **σ** | Spanning | Pa |
| **τ** | Schuifspanning | Pa |

# 1. Probleem definiërende fase

De probleem definiërende fase is de inleidende fase van dit rapport. Er wordt een beschrijving gegeven van het bedrijf en de projectopdracht.

## 1.1. Bedrijfsprofiel

*Robur* is een klein bedrijf op het industrieterrein 'De Leehove' in De Lier, in het Westland. Het bedrijf ontwerpt en bouwt machines voor de glastuinbouw. Veel van deze machines rijden boven het gewas over rails die aan de kasconstructie zijn bevestigd. Een goed voorbeeld hiervan is de spuitrobot (zie figuur 1.1), welke wordt gebruikt voor het verspreiden van gewasbeschermingsmiddelen. *Robur* ontwerpt en bouwt ook verrijdbare serviceplatforms en andere voertuigen, machines en constructies voor in de glastuinbouw.




**Figuur 1.1. Spuitrobot van *Robur***

Het bedrijf beschikt over een werkplaats met twee bovenloopkranen, lasapparatuur, draaibanken en nog andere kleine machines en gereedschappen. Daarnaast heeft *Robur* een mechatronicaruimte voor alle elektronica en software.

Het project wordt uitgevoerd op de R&D-afdeling. Op deze *research and development*-afdeling van *Robur* werken drie ontwerpers. De ontwerpers beschikken over een computer met *Autocad.* In dit tekenprogramma worden de producten van *Robur* ontworpen en op maat gemaakt voor de klant. In de toekomst gaat het bedrijf over op een 3D-tekenpakket, in dit afstudeerproject wordt daarmee al gewerkt.

## 1.2. Opdrachtomschrijving

In deze paragraaf zal de projectopdracht worden beschreven. Door het beschrijven van de aanleiding, probleemstelling, projectomschrijving, doelstelling en projectgrenzen wordt duidelijk wat dit project inhoud.

### 1.2.1.*Aanleiding*

Het afgelopen jaar heeft *Robur* een nieuwe aanhangwagen gekocht (zie figuur 1.2). Zij gebruiken aanhangwagens om hun producten en machines naar klanten te brengen. Het bedrijf heeft nu twee aanhangwagens: een plateauwagen en de nieuwe schamelwagen. De schamelwagen was nodig omdat de plateauwagen die het bedrijf al had, te klein werd voor de machines die *Robur* verkoopt. *Robur* wil echter dat de nieuwe schamelwagen netjes gestald wordt om schade en corrosie te voorkomen.



**Figuur 1.2. De nieuwe aanhangwagen van *Robur* (ROTA-3 3503).**

### 1.2.2.*Probleemstelling*

De aanschaf van de schamelwagen verergert een probleem waarmee *Robur* al enkele maanden te kampen heeft: ruimtegebrek. Vaak staat de aanhangwagen in de werkplaats, hier neemt deze veel kostbare ruimte in beslag. De werkplaats staat vol met bijvoorbeeld machines, opslag en werkbanken, er is dus weinig vrij grondoppervlak over. In de werkplaats staat de aanhangwagen vaak behoorlijk in de weg.

Daarom staat de aanhangwagen ook nog wel eens buiten, waardoor de wagen is gaan roesten. De roest zorgt er op ten duur voor dat bedrading en andere onderdelen kapot gaan. De wagen staat buiten in een smal steegje tussen het pand van *Robur* en het pand van de buurman. Dit steegje mag echter niet gebruikt worden omdat deze dient als brandgang. Om reparatiekosten, boetes en brandveiligheidsproblemen te voorkomen wil *Robur* de schamelwagen op een veilige, droge en handige plaats stallen in de werkplaats.

### 1.2.3.*Doelstelling*

Aan het eind van de stageperiode wil *Robur* een goede werktuigbouwkundige oplossing voor hun parkeerprobleem. Hier hoort een ontwerp van benodigde constructies bij.

Aan het eind van de stageperiode wil de stagiair een goed en bruikbaar ontwerp van een aanhangwagenstalling en een goede beoordeling van de scriptie en afstudeerzitting. Daarnaast is het voor de stagiair belangrijk om de competenties te verbeteren (zie bijlage VII) en de titel 'werktuigbouwkundig ingenieur' te halen.

### 1.2.4.*Projectgrenzen*

Het is voor projectbetrokkenen belangrijk om te weten wat nu tot het project behoort. De projectgrenzen worden opgesteld aan de hand van de lengte (wanneer is het project voltooid?) en de breedte (wat behoort tot het project?).

**- Lengte**

Het project is voltooid wanneer het ontwerp en de scriptie zijn gemaakt en goedgekeurd. In de scriptie horen een beschrijving van het ontwerp met heldere onderbouwing. De onderbouwing wordt gedaan met behulp van keuzematrices, berekeningen of aanvullende informatie. De afstudeerstage is afgerond wanneer de afstudeerzitting en scriptie met een voldoende zijn beoordeeld.

**- Breedte**

Het parkeerprobleem wordt opgelost met een werktuigbouwkundige oplossing. Logistieke of bouwkundige oplossingen worden niet behandeld.

Bij het project hoort een volledig ontwerp van een constructie die een parkeeroplossing geeft voor de schamelwagen. De ontworpen constructie moet te monteren zijn op, aan of in het pand van *Robur*. Permanente aanpassingen aan de aanhangwagen en omgeving worden beschreven en eventueel ontworpen.

Tijdens het project worden werktekeningen van enkele onderdelen of samenstellingen gemaakt. Deze werktekeningen dienen als voorbeeld voor de werktekeningen van de aanhangwagenkraan die eventueel na de afstudeerstage worden gemaakt.

Bij het schrijven van deze scriptie wordt geprobeerd de berekeningen zo goed mogelijk uit te leggen. Er wordt wel verwacht dat de lezer kennis heeft van de basiskennis in de mechanica, wiskunde, materiaalkunde en productietechniek. Voor het begrijpen van de berekeningen met de eindige elementen methode in bijlage IV is er ook kennis is van matrixrekenen nodig.

## 1.3. Situatiebeschrijving

In dit hoofdstuk wordt de nieuwe aanhangwagen (schamelwagen), de hulpmiddelen in de werkplaats en de locatie voor de parkeeroplossing beschreven. Deze informatie wordt later gebruikt bij het bedenken van deeloplossingen.

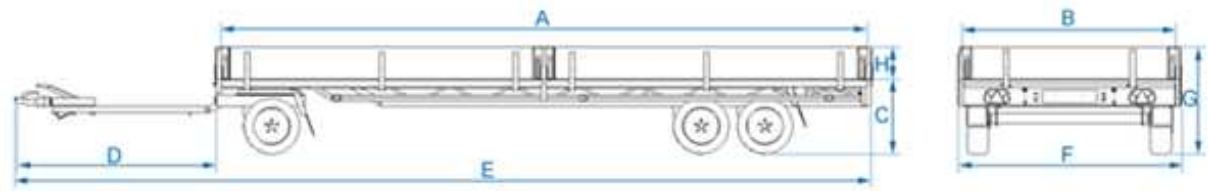
### 1.3.1. *De schamelwagen*

De nieuwe aanhangwagen is een 'schamelwagen' van de Duitse fabrikant *Hulco Trailers*. Schamelwagens zijn geschikt voor het transport van grote lange ladingen. De wielen zijn, anders dan bij een plateauwagen, aan de uiteinden van de wagen geplaatst. Hierdoor blijft de kracht op de trekhaak van de auto laag.

De schamelwagen van *Robur* wordt zo min mogelijk gebruikt. Alleen machines die niet in de plateauwagen passen, worden met de schamelwagen getransporteerd. Dit gebeurt enkele malen per jaar. Hierdoor is het rendabel om vooral de schamelwagen op een goede plaats te stallen. In tabel 1.1 en figuur 1.3 staan de afmetingen en de massa van de schamelwagen[3].

**Tabel 1.1. Afmetingen en massa van de schamelwagen**

| Afmetingen en massa | Letter | Waarde | Eenheid |
|---|---|---|---|
| Massa leeg | | 965 | kg |
| Baklengte binnen | A | 6110 | mm |
| Bakbreedte | B | 2030 | mm |
| Laadhoogte | C | 680 | mm |
| Triangellengte | D | 1870 | mm |
| Totale lengte | E | 8080 | mm |
| Totale breedte | F | 2100 | mm |
| Totale hoogte | G | 980 | mm |
| Bordhoogte | H | 300 | mm |

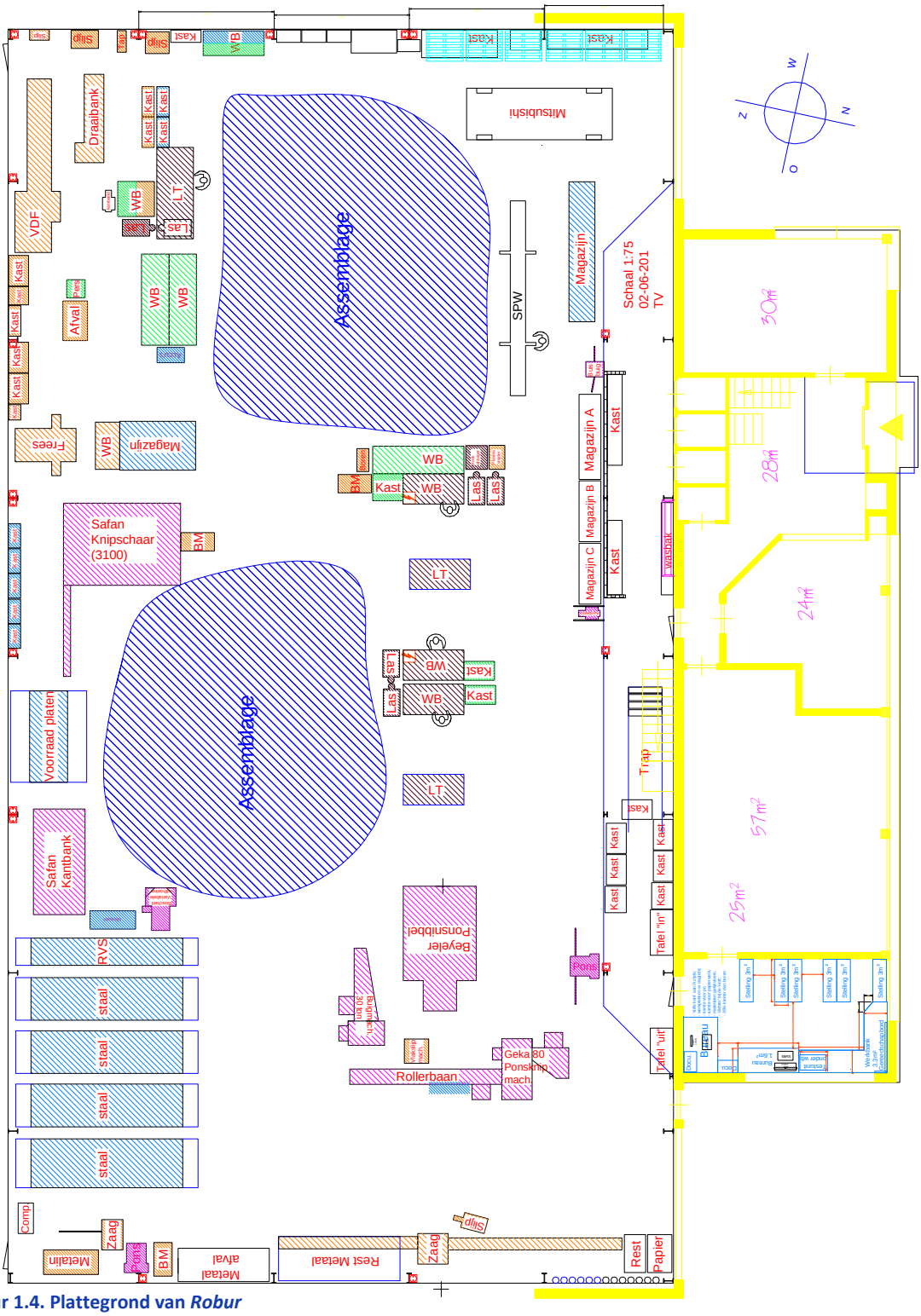



**Figuur 1.3. Afmetingen van de schamelwagen**

[3] Bron: *http://www.hulco.nl/.*

### 1.3.2.*De locatie*

In figuur 1.4 staat de plattegrond van het pand van *Robur*. Aan de westelijke kant van het pand staan de af te leveren producten en machines. Hierdoor is dit de ideale opbergplaats van de aanhangwagen. Ook één van de bestelbussen van *Robur* heeft hier zijn parkeerplek.

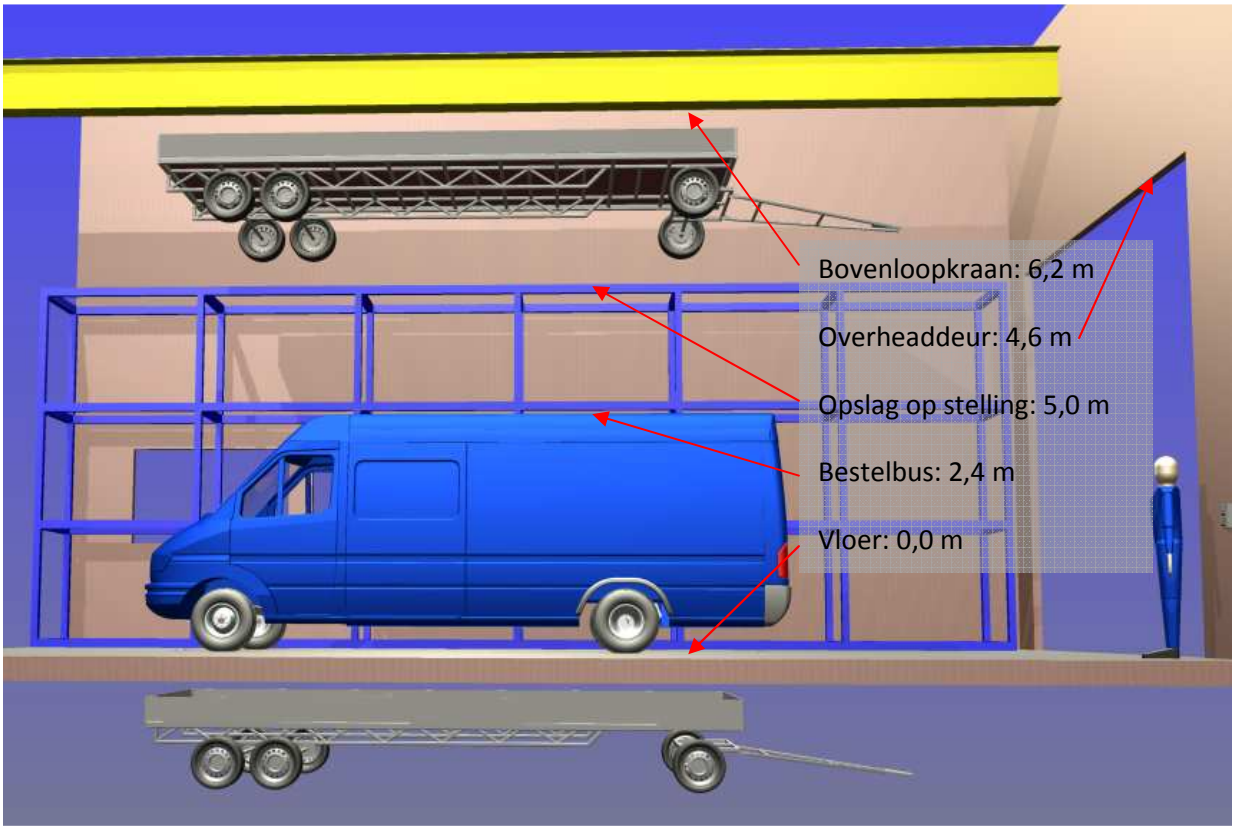



**Figuur 1.4. Plattegrond van *Robur***

Het efficiënt stallen van de aanhangwagen kan veel bruikbare ruimte opleveren. Deze ruimte moet echter weer (gedeeltelijk) leeg zijn wanneer men de aanhangwagen nodig heeft. Daarvoor moet goed worden onderzocht hoe men deze gecreëerde ruimte wil gebruiken.

De ruimte kan worden ingevuld als werkplek, met verrijdbare werktafels en lasapparaten. Wanneer de aanhangwagen gebruikt moet worden, moeten de objecten opzij gezet worden. Omdat het verplaatsen van een hele werkplek veel tijd kost zullen de objecten al snel permanent opzij worden gezet. Hierdoor wordt de gecreëerde ruimte alsnog niet efficiënt gebruikt.

De bestelbus van *Robur* staat geparkeerd in de noordwestelijke hoek van de werkplaats, vlak bij de overheaddeur. Deze bestelbus wordt gebruikt als trekvoertuig van de aanhangwagens. Het is daarom erg efficiënt om deze bestelbus op de gecreëerde ruimte te parkeren. Er zijn dan nog twee mogelijkheden over: boven en onder de bestelbus (zie figuur 1.5).




**Figuur 1.5.Mogelijke stalposities**

**De overheaddeur**

Soms rijden er vrachtwagens door de westelijke overheaddeur naar binnen. Deze vrachtwagens leveren stalen profielen of andere machineonderdelen. De constructie die de aanhangwagen stalt mag de doorgang voor deze vrachtwagens niet belemmeren. De vrachtwagens die binnenrijden zijn maximaal 4,6 meter hoog; dit is de hoogte van de overheaddeur.

**De stelling**

Tegen de westelijke muur staan stellingen. *Robur* wil de stellingen op deze locatie blijven gebruiken. De stalling van de aanhangwagen mag het plaatsen van goederen in deze stelling niet hinderen. De goederen op deze stelling komen tot ongeveer vijf meter hoogte.

**De bovenloopkraan**

Boven de hele werkplaats van *Robur* rijden twee bovenloopkranen. De liggers van deze bovenloopkranen bewegen op een hoogte van 6,2 meter boven de werkvloer. Wanneer de aanhangwagen op de werkvloer staat wil men deze kunnen laden en lossen met de bovenloopkraan. De constructie mag het gebruik van de bovenloopkraan dus niet belemmeren.

**De vloer**

De vloer in de werkplaats is van beton. Deze vloer is geschikt voor het bevestigen van zware constructies. Men wil de werkvloer echter zo leeg en vlak mogelijk houden, zodat vorkheftrucks, aanhangwagens en de bedrijfswagens de ruimte hebben om te manoeuvreren.

**De muren**

De muren van de werkplaats zijn gebouwd met gewone bakstenen. Het dak wordt vooral ondersteund door HEA 160 balken die om de 4,5 meter zijn geplaatst. Deze balken kunnen gebruikt worden voor het bevestigen van constructies.

## 1.4. Pakket van eisen en wensen

Het pakket van eisen en wensen vormt de basis van ieder ontwerp. Om het pakket van eisen overzichtelijk te houden zijn alle eisen en wensen in acht categorieën ingedeeld. Voor iedere categorie is bepaald of deze tot de functionele eisen of de fabricage eisen behoort.

- Functionele eisen hebben betrekking op het gebruik van het ontwerp. Eisen betreffende de veiligheid en het gebruiksgemak vallen hieronder.
- Fabricage eisen hebben betrekking op de kosten en fabriceerbaarheid van het ontwerp.

Daarnaast is voor iedere eis bepaald of deze een vaste eis, variabele eis of een wens is:

- Vaste eisen zijn criteria waaraan het ontwerp moet voldoen.
- Variabele eisen zijn criteria waar het ontwerp zo veel mogelijk aan moet voldoen. In paragraaf 2.5 worden de concepten aan deze variabele eisen getoetst met de multi criteria analyse.
- Wensen zijn criteria waaraan alleen wordt voldaan als deze geen negatieve invloed hebben op de variabele eisen. Wensen zijn dus ondergeschikt aan de variabele eisen. Wensen worden niet meegenomen in de toetsing.

In tabel 1.2 tot en met tabel 1.9 staan de eisen en wensen per categorie.

### 1.4.1. *Primaire functievervulling*

De eisen in deze categorie gaan over de functionaliteit van de parkeeroplossing. De eisen in deze categorie behoren uiteraard tot de functionele eisen.

**Tabel 1.2. Eisen met betrekking op de primaire functievervulling**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| **1.1** | Het ontwerp biedt een parkeeroplossing voor de schamelwagen. | **X** | | |
| **1.2** | Het ontwerp biedt een parkeeroplossing voor de plateauwagen. | | | **X** |
| **1.3** | De aanhangwagen wordt in de noordwestelijke hoek van de werkplaats gestald. | **X** | | |
| **1.4** | Het ontwerp geeft een parkeeroplossing die ruimte creëert voor een parkeerplaats voor de bestelbus. | **X** | | |
| **1.5** | Het ontwerp hindert het gebruik van de stellingen en de bovenloopkraan niet. | | **X** | |
| **1.6** | Het koppelen aan en ontkoppelen van de constructie is eenvoudig en snel uit te voeren. | | **X** | |
| **1.7** | De kans op schade aan de aanhangwagen is klein. | | **X** | |

### 1.4.2.*Belasting en capaciteit*

De eisen die behoren tot de belasting en capaciteit gaan over de spanningen die het ontwerp aan moet kunnen en de snelheid waarmee het ontwerp werkt. De eisen in deze categorie behoren tot de functionele eisen.

**Tabel 1.3. Eisen met betrekking op de belasting en capaciteit**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| 2.1 | Het ontwerp kan de 965 kg wegende schamelwagen veilig positioneren en herpositioneren. | X | | |
| 2.2 | Het positioneren en herpositioneren kosten weinig tijd. | | X | |

### 1.4.3.*Onderhoud*

Wanneer het ontwerp in gebruik is genomen blijft er nog een kostenpost over; het onderhoud. In deze categorie staan de eisen die behoren tot het onderhoud van het ontwerp. De eisen in deze categorie behoren tot de functionele eisen.

**Tabel 1.4. Eisen met betrekking op het onderhoud**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| 3.1 | Het ontwerp is beschermd tegen corrosie. | X | | |
| 3.2 | Schoonmaken kan met (lage druk) waterstraal. | | | X |
| 3.3 | Het ontwerp bevat weinig kwetsbare onderdelen. | | X | |
| 3.4 | Een onderhoudsmonteur kan gemakkelijk bij de onderdelen van de constructie. | | X | |
| 3.5 | Kwetsbare onderdelen zijn gemakkelijk te vervangen | | | X |

### 1.4.4.*Veiligheid*

In deze categorie staan de eisen die betrekking hebben op de veiligheid voor de mens. Een aantal belangrijke variabele eisen uit de machinerichtlijn zijn opgenomen in deze categorie. De eisen in deze categorie behoren tot de functionele eisen.

**Tabel 1.5. Eisen met betrekking op de veiligheid**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| 4.1 | De parkeeroplossing voldoet aan de machinerichtlijn. | X | | |
| 4.2 | Het ontwerp valt niet onder de liftenrichtlijn. | X | | |
| 4.3 | Het ontwerp voldoet aan de laagspanningsrichtlijn. | X | | |
| 4.4 | De kans op vallende objecten is klein. | | X | |
| 4.5 | De kans op beklemming is klein. | | X | |

### 1.4.5.*Omgeving*

In de categorie ‘omgeving’ staan eisen die betrekking hebben op de omgeving van het ontwerp. De belangrijkste vraag is hierbij in welke mate deze omgeving aangepast mag worden. De eisen in deze categorie behoren tot de fabricage eisen.

**Tabel 1.6. Eisen met betrekking op de omgeving**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| 5.1 | De constructie ziet er strak en professioneel uit. | | | X |
| 5.2 | De constructie steekt maximaal 6,2 meter boven de vloer uit. | X | | |
| 5.3 | De constructie en de gestalde aanhangwagen bevinden zich niet tussen het vloeroppervlak en 5,0 meter hoogte. | X | | |
| 5.4 | Er zijn geen aanpassingen aan de aanhangwagen nodig, waardoor deze herkeurd moet worden. | X | | |

### 1.4.6.*Elektronica*

Het ontwerp zal bewegende onderdelen bevatten. Deze worden meestal aangestuurd door elektromotoren en gecontroleerd met sensoren. In deze categorie staan de eisen die betrekking hebben op deze elektrische onderdelen. De eisen in deze categorie behoren tot de fabricage eisen.

**Tabel 1.7. Eisen met betrekking op de elektronica**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| **6.1** | Elektrische onderdelen zijn beschermd tegen water en stof met ten minste IP54. | **X** | | |
| **6.2** | De krachtbron is elektrisch. | **X** | | |
| **6.3** | Gebroken of beschadigde bedrading leidt nooit tot onveilige situaties. | **X** | | |

### 1.4.7.*Assemblage en montage*

Deze eisen hebben betrekking op de assemblage van het ontwerp. Hoewel het ontwerp maar één maal gebouwd wordt, is het toch belangrijk om bij de assemblage na te denken. De assemblagekosten worden uiteindelijk een groot deel van de totale kosten. De eisen in deze categorie behoren tot de fabricage eisen.

**Tabel 1.8. Eisen met betrekking op de assemblage**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| **7.1** | Het aantal verschillende onderdelen van het ontwerp is beperkt. | | **X** | |
| **7.2** | Bij de fabricage kan men gebruik maken van eenvoudige gereedschappen. | | **X** | |
| **7.3** | Het ontwerp kan bij *Robur* geassembleerd worden. | | | **X** |
| **7.4** | Het ontwerp is gemakkelijk te monteren. | | **X** | |

### 1.4.8.*Kosten*

Hoewel veel eisen uiteindelijk betrekking hebben op de kosten wordt deze categorie toch apart benoemd. Hierdoor vormen de kosten een belangrijk aspect in de multi criteria analyse. De eisen in deze categorie behoren tot de fabricage eisen.

**Tabel 1.9. Eisen met betrekking op de kosten**

| Nr. | Omschrijving | Vaste eis | Variabele eis | wens |
|---|---|---|---|---|
| **8.1** | De materiaalkosten zijn laag. | | **X** | |
| **8.2** | De kosten voor de assemblage zijn laag. | | **X** | |
| **8.3** | De kosten voor de montage zijn laag. | | **X** | |
| **8.4** | De kosten voor de programmering zijn laag. | | **X** | |

# 2. Werkwijze bepalende fase

In deze fase van het project wordt onderzoek gedaan naar hoe het ontwerp moet gaan werken. Hiervoor wordt allereerst gekeken naar soortgelijke constructies. Aan het eind van deze werkwijze bepalende fase wordt een werkingsprincipe gekozen.

## 2.1. Literatuurstudie

In deze paragraaf worden enkele bestaande oplossingen voor het stallen van voertuigen of hijsen van objecten beschreven. De concepten uit paragraaf 2.4 en de deeloplossingen van het morfologisch overzicht (paragraaf 2.3) zijn ontstaan uit deze bestaande oplossingen.

### 2.1.1. *De garagelift*

In iedere autogarage is wel een garagelift te vinden. Deze garagelift wordt meestal gebruikt om werkzaamheden onder een auto te verrichten. In sommige gevallen wordt de garagelift gebruikt voor het creëren van een extra parkeerplaats. Garageliften zijn er in twee soorten:

- Vierportalen met rijplaten (zie figuur 2.1)
- Twee portalen met ondersteuning onder de carrosserie (zie figuur 2.2)

Daarnaast kan men nog kiezen tussen een hydraulisch of elektrisch hefmechanisme.



**Figuur 2.1. Garagelift met vier portalen**



**Figuur 2.2. Garagelift met twee portalen**

### 2.1.2.*De containerkraan*

Met een hijskraan is het mogelijk om een aanhangwagen op te hijsen. Net als een zeecontainer kan de aanhangwagen aan vier hoeken worden vastgegrepen of aangehaakt. Een containerkraan zoals in de Rotterdamse haven (zie figuur 2.3) kan verkleind en vereenvoudigd worden tot een hijsconstructie voor de aanhangwagen.



**Figuur 2.3. De containerkraan**

### 2.1.3. *De ondergrondse garage*

Met een liftconstructie kan men de aanhangwagen ook onder de grond stallen. Hierbij wordt een constructie vergelijkbaar aan de garagelift onder het werkvloerniveau geplaatst. Het dak boven de aanhangwagen dient ook als werkplaatsvloer en moet dus sterk genoeg zijn om vorkheftrucks en vrachtwagens te dragen.



**Figuur 2.4. Ondergrondse garage**

### 2.1.4.*De gevelwagen*

In de tuinbouwautomatisering gebruikt men voor intern transport vaak kweektafels. Op deze kweektafels staan vele planten die daardoor gemakkelijk en snel getransporteerd kunnen worden. Dit transport kan met behulp van een automatische gevelwagen. De gevelwagen klapt twee lepels uit onder een kweektafel, waarmee deze opgetild kan worden. De kweektafel wordt, boven de andere planten, langs de gevel getransporteerd. Het hefmechanisme met de klaplepels kan men gebruiken om een aanhangwagen op te tillen.



**Figuur 2.5. Automatische gevelwagen in een transportsysteem**

## 2.2. Doel en functie

In het pakket van eisen en wensen staat de categorie ‘primaire functievervulling’. Dit betekent dat het ontwerp (zo veel mogelijk) aan deze eisen moet voldoen om überhaupt het doel te bereiken. In deze paragraaf wordt bepaald wat dat doel is en welke functies het daarvoor moet vervullen.

### 2.2.1.*Het doel*

Het doel vertelt wat het ontwerp uiteindelijk moet kunnen. Hierbij wordt niets verteld over de manier waarop het ontwerp dit doet. Het doel van het ontwerp is:

- *Het creëren van een veilige stalling voor de schamelwagen, waarbij deze zo min mogelijk in de weg staat.*

### 2.2.2.*De functie*

De functie van een ontwerp is de benodigde handeling die gedaan moet worden om het gestelde doel te bereiken. De functie van het ontwerp is dan ook:

- *De aanhangwagen op een positie brengen en houden waar deze niet in de weg staat.*

### 2.2.3.*De deelfuncties*

Om de hoofdfunctie te vervullen zijn er enkele deelfuncties. Voor deze deelfuncties worden deeloplossingen bedacht waarmee concepten worden samengesteld.

**Koppelen**

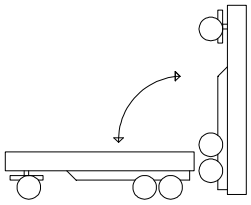
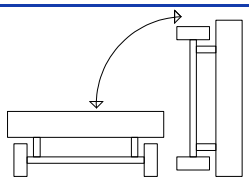
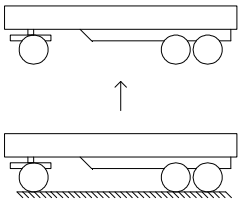
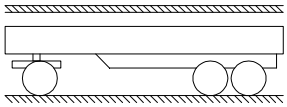
De aanhangwagen moet door een werknemer aan de constructie gekoppeld worden. Bij het positioneren wordt de aanhangwagen verplaatst, hiervoor moet de wagen goed zijn bevestigd. De manier van koppelen is deels afhankelijk van de manier van positioneren.

**Positioneren**

Bij het positioneren wordt de aanhangwagen naar zijn stalpositie toegebracht. Positioneren kan op verschillende manieren.

In tabel 2.1 staan methodes om ruimte te creëren met de voordelen en nadelen ervan. Combinaties van twee of meer methodes zijn ook mogelijk.

**Tabel 2.1. Positioneermethodes**

| Naam | Figuur | Voor- en nadelen |
|---|---|---|
| **Kantelen in lengterichting** |  | + Weinig vloeroppervlak gebruik<br>- Werkplaats te laag |
| **Kantelen in breedterichting** |  | + Weinig vloeroppervlak gebruik<br>- Gebruik van de stellingen wordt belemmerd<br>- Grote kans op beschadiging |
| **Liften** |  | + Heel weinig vloeroppervlak gebruik<br>- Compacte constructie noodzakelijk<br>- Constructie vaak in de weg van de bovenloopkraan |
| **Ondergronds** |  | + Veilig<br>+ Constructie nooit in de weg voor de bovenloopkraan<br>- Grote verbouwing |

**Herpositioneren**

Op commando moet de constructie de aanhangwagen terugplaatsen op een positie waarbij de medewerker de wagen kan gebruiken. Dit kan worden samengevat tot ‘herpositioneren’.

**Ontkoppelen**
Vervolgens moet de aanhangwagen losgemaakt worden van de constructie. Dit wordt voortaan ‘ontkoppelen’ genoemd. Hierna is de aanhangwagen klaar voor gebruik.

‘Koppelen & ontkoppelen’ en ‘positioneren & herpositioneren’ zijn bijna altijd elkaars tegenovergestelde. Deze kunnen met de zelfde deeloplossing bereikt worden. In het morfologisch overzicht (paragraaf 2.3) wordt daarom geen onderscheid gemaakt tussen ‘koppelen & ontkoppelen’ en ‘positioneren & herpositioneren’.

**Plaats maken**
Een hefconstructie zal na het neerzetten van de aanhangwagen plaats moeten maken voor de bovenloopkraan. Een constructie in de vloer moet plaats kunnen maken voor andere voertuigen.

### 2.2.4. *Het functieblokschema*

De deelfuncties kunnen in een functieblokschema worden geplaatst (zie figuur 2.6):

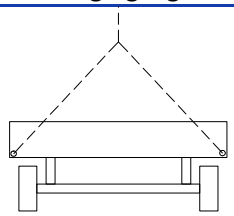
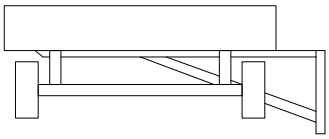
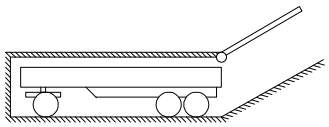
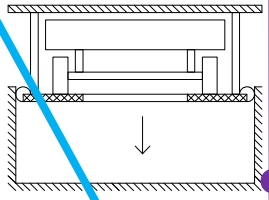
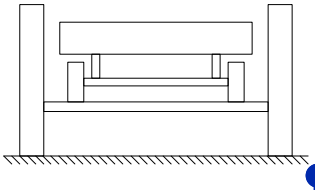
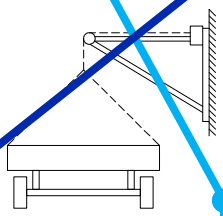
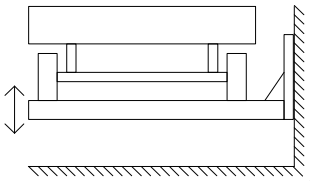



**Figuur 2.6. Het functieblokschema van de parkeeroplossing**

## 2.3. Morfologisch overzicht

In paragraaf 2.2 zijn de verschillende deelfuncties van het ontwerp beschreven. In het morfologisch overzicht in tabel 2.2 staan de deeloplossingen voor deze deelfuncties. De deeloplossingen zijn gecombineerd tot concepten. In paragraaf 2.4 worden de concepten toegelicht.

**Tabel 2.2. Het morfologisch overzicht**

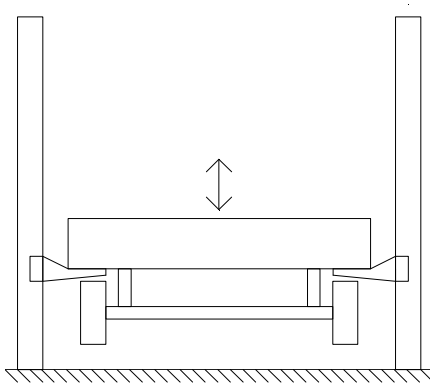
| Deelfunctie | Deeloplossingen | | |
|---|---|---|---|
| **Koppelen** | Aan bevestigingsogen | Op/inrijden | Op pallen |
| |  |  |  |
| **Positioneren** *Onder de werkplaats* | Helling naar beneden | Lift met dak | |
| |  |  | |
| **Positioneren** *Bovenin de werkplaats* | Garagelift | Kraan | Gevellift |
| |  |  |  |
| **Plaatsmaken** | Handmatig in/uitklappen | Automatisch in/uitklappen | |
| **Concept** | **1** | **2** | **3** / **4** |

## 2.4. Concepten

In deze paragraaf worden de concepten beschreven. Ieder concept wordt toegelicht met een ontwerpbeschrijving en een beschrijving van de werking.

### 2.4.1.*Concept 1: De garagelift*

Concept 1 is geïnspireerd op een garagelift, zoals deze is te vinden in iedere moderne autogarage. Deze lift wordt normaal gebruikt om werkzaamheden onder een auto te verrichten. In figuur 2.7 is concept 1 schematisch getekend.



Figuur 2.7. Overzicht concept 1

**Het ontwerp**

De constructie bestaat uit twee portalen met ieder twee armen. Deze armen kan men onder het frame van de aanhangwagen draaien.

De armen zijn bevestigd aan een lift die over de portalen rijdt. Deze lift kan op verschillende manieren bewogen worden; bijvoorbeeld met hijskabels of hijsbanden, tandheugels, ketting met tandwielen, hydraulische cilinders of spindels.

**De werking**

De constructie in dit concept wordt bediend door één medewerker; dit zijn de handelingen om de aanhangwagen te stallen:

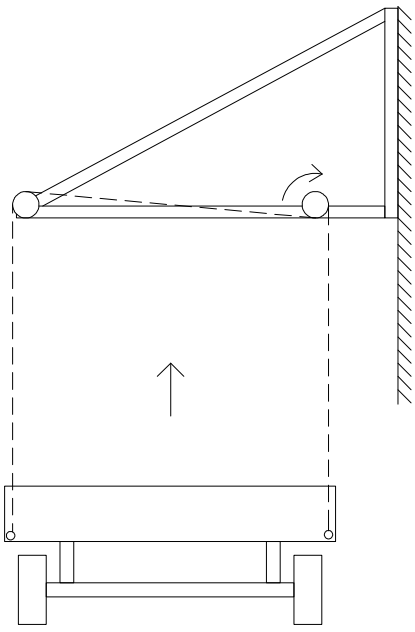
1) De lift laten zakken.
2) De pallen handmatig uitklappen.
3) De aanhangwagen laten liften.

### 2.4.2.*Concept 2: De hijskraan*

Het tweede concept is geïnspireerd op een kraan in de haven.

**Het ontwerp**

Dit concept bestaat uit een hefconstructie dat aan de muur is gemonteerd. In figuur 2.8 is het zijaanzicht van het concept de zien. Het hijsmechanisme kan worden uitgerust met kabels, kettingen of hijsbanden.



Figuur 2.8. Overzicht concept 2

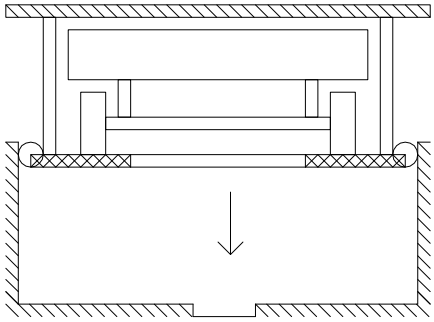
**De werking**

De constructie wordt bediend door één medewerker; dit zijn de handelingen om de aanhangwagen te stallen:

1) De aanhangwagen onder de constructie plaatsen.
2) Kabels laten zakken en bevestigen aan de bevestigingsogen.
3) De aanhangwagen laten liften.

### 2.4.3.*Concept 3: Ondergronds*

Concept 3 zou zo uit een James Bond film kunnen komen. De aanhangwagen wordt onder het werkvloerniveau gestald en wordt omhoog gelift wanneer deze benodigd is (zie figuur 2.9).



Figuur 2.9. Overzicht concept 3

**Het ontwerp**

De kuil wordt ongeveer één meter diep. Het hijsmechanisme kan net als in concept 1 op vele verschillende manieren worden uitgevoerd.

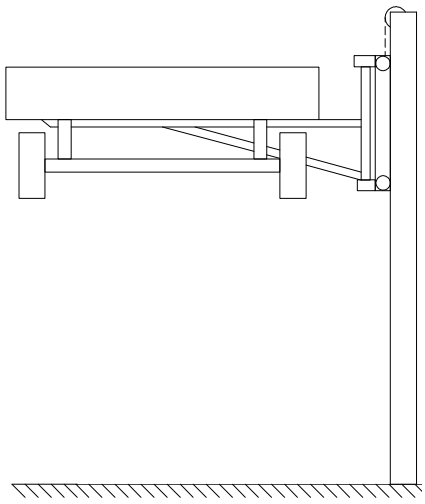
**De werking**

De constructie in dit concept wordt bediend door één medewerker; dit zijn de handelingen om de aanhangwagen te stallen:

1) De constructie liften.
2) De aanhangwagen op de rijplaten plaatsen.
3) De constructie laten dalen.

### 2.4.4.*Concept 4: De gevellift*

De gevellift wordt gebruikt in transportsystemen in de glastuinbouw.



Figuur 2.10. Overzicht concept 4

**Het ontwerp**

Twee portalen zullen tegen de staanders van de stellingen worden gemonteerd. Bovenin de portalen worden er nog verbindingen naar de muur gemaakt. De portalen zullen worden gemaakt van een H- of I-balk. Hierover zal een lift rijden. Deze lift kan op en neer bewegen met kabels, hijsbanden, tandwielen met ketting, spindels of tandheugels.

De twee pallen die de aanhangwagen optillen kunnen wegdraaien, zodat deze niet in de weg zitten van de bovenloopkraan.

**De werking**

Het ontwerp in dit concept wordt bediend door één medewerker; dit zijn de handelingen om de aanhangwagen te stallen:

1) De lift laten zakken.
2) De pallen uitklappen.
3) De aanhangwagen laten liften.

## 2.5. Multi criteria analyse

In dit hoofdstuk wordt het beste concept gekozen met de multi criteria analyse. Allereerst wordt per variabele eis de belangrijkheid bepaald, daarna worden de concepten getoetst aan deze eisen.

### 2.5.1. *Weegfactor bepaling*

In tabel 2.3 en tabel 2.4 worden de variabele eisen, zoals beschreven in paragraaf 1.4, met elkaar vergeleken en een weegfactor bepaald. Telkens worden er twee eisen met elkaar vergeleken, de belangrijkste eis krijgt een '1' en de minder belangrijke eis een '0'. Alle enen worden bij elkaar opgeteld, waarmee een score wordt verkregen. Deze score wordt omgerekend tot een weegfactor. Elke eis krijgt een weegfactor van minimaal '1' en maximaal '3'; de weegfactoren worden afgerond op hele getallen.

**Tabel 2.3. Weegfactor bepaling functionele eisen**

| **Weegfactor – functionele eisen** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Voorwaarde** | | **Eis** | | | | | | | |
| | | ***1.5*** | ***1.6*** | ***1.7*** | ***2.2*** | ***3.3*** | ***3.4*** | ***4.4*** | ***4.5*** |
| ***1.5*** | Weinig hinder voor gebruik van stelling en BLK. | (0) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| ***1.6*** | Koppelen en ontkoppelen is snel en simpel. | 0 | (0) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ***1.7*** | Kans op schade aan wagen is klein. | 0 | 1 | (0) | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ***2.2*** | Positioneren en herpositioneren gaat snel. | 1 | 1 | 1 | (0) | 0 | 0 | 1 | 1 |
| ***3.3*** | Weinig kwetsbare onderdelen. | 1 | 1 | 1 | 1 | (0) | 0 | 1 | 1 |
| ***3.4*** | Toegankelijk voor onderhoud. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | (0) | 1 | 1 |
| ***4.4*** | Kans op vallende objecten is klein. | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | (0) | 0 |
| ***4.5*** | Kans op beklemming is klein. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | (0) |
| **Score:** | | **4** | **7** | **4** | **2** | **1** | **0** | **6** | **4** |
| **Weegfactor:** *(=score x (3/score$_{max}$)* | | **2** | **3** | **2** | **1** | **1** | **1** | **3** | **2** |

**Tabel 2.4. Weegfactor bepaling fabricage eisen**

| **Weegfactor – fabricage eisen** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Voorwaarde** | | **Eis** | | | | | | |
| | | ***7.1*** | ***7.2*** | ***7.4*** | ***8.1*** | ***8.2*** | ***8.3*** | ***8.4*** |
| ***7.1*** | Weinig verschillende onderdelen. | (0) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| ***7.2*** | Fabricage kan met simpel gereedschap. | 0 | (0) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ***7.4*** | Het ontwerp is gemakkelijk te monteren. | 0 | 0 | (0) | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ***8.1*** | De materiaalkosten zijn laag. | 0 | 0 | 0 | (0) | 0 | 0 | 0 |
| ***8.2*** | De assemblagekosten zijn laag. | 0 | 0 | 0 | 1 | (0) | 0 | 0 |
| ***8.3*** | De montagekosten zijn laag. | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | (0) | 0 |
| ***8.4*** | De programmeringkosten zijn laag. | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | (0) |
| **Score:** | | **1** | **1** | **2** | **6** | **5** | **4** | **2** |
| **Weegfactor:** *(=score x (3/score$_{max}$)* | | **1** | **1** | **1** | **3** | **3** | **2** | **1** |

### 2.5.2.*Keuzematrices*

In tabel 2.5 en tabel 2.6 worden de concepten getoetst aan de variabele eisen. Hierbij scoort ieder concept op de invulling van een variabele eis. Een concept kan minimaal '1' en maximaal '4' punten scoren. Het puntenaantal wordt vermenigvuldigd met de weegfactor en bij elkaar opgeteld. Hier komt een uiteindelijke score uit. Deze wordt omgerekend naar percentages van het ideaal.

**Tabel 2.5. Keuzematrix met de functionele eisen**

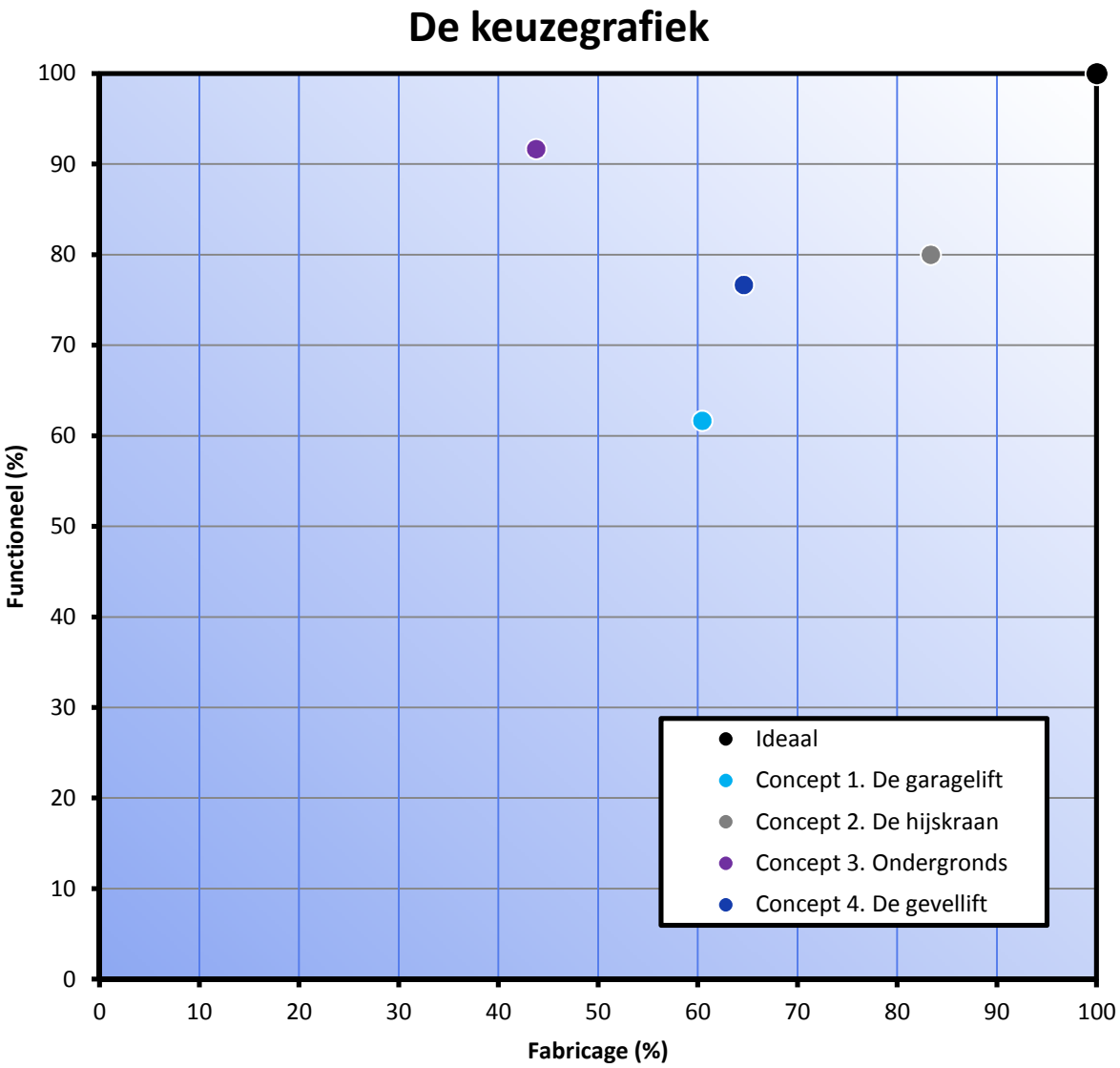
| Toetsing aan de functionele eisen | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Eis** | **Wf.** | ***Concept 1***<br>*De garagelift* | ***Concept 2***<br>*De hijskraan* | ***Concept 3***<br>*Ondergronds* | ***Concept 4***<br>*De gevellift* | ***Ideaal***<br>*Utopie* |
| **1.5** | 2 | (2) 4 | (4) 8 | (4) 8 | (2) 4 | (4) 8 |
| **1.6** | 3 | (1) 3 | (3) 9 | (4) 12 | (4) 12 | (4) 12 |
| **1.7** | 2 | (4) 8 | (3) 6 | (4) 8 | (4) 8 | (4) 8 |
| **2.2** | 1 | (2) 2 | (2) 2 | (4) 4 | (2) 2 | (4) 4 |
| **3.3** | 1 | (3) 3 | (4) 4 | (3) 3 | (3) 3 | (4) 4 |
| **3.4** | 1 | (3) 3 | (2) 2 | (4) 4 | (3) 3 | (4) 4 |
| **4.4** | 3 | (2) 6 | (3) 9 | (4) 12 | (2) 6 | (4) 12 |
| **4.5** | 2 | (4) 8 | (4) 8 | (2) 4 | (4) 8 | (4) 8 |
| **Score:** | | **37** | **48** | **55** | **46** | **60** |
| **Procent:** | | **61,7 %** | **80,0 %** | **91,7 %** | **76,7 %** | **100 %** |

**Tabel 2.6. Keuzematrix met de fabricage eisen**

| Toetsing aan de fabricage eisen | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Eis** | **Wf.** | ***Concept 1***<br>*De garagelift* | ***Concept 2***<br>*De hijskraan* | ***Concept 3***<br>*Ondergronds* | ***Concept 4***<br>*De gevellift* | ***Ideaal***<br>*Utopie* |
| **7.1** | 1 | (1)1 | (4)4 | (1)1 | (2)2 | (4)4 |
| **7.2** | 1 | (3)3 | (4)4 | (1)1 | (3)3 | (4)4 |
| **7.4** | 1 | (3)3 | (2)2 | (1)1 | (3)3 | (4)4 |
| **8.1** | 3 | (2)6 | (4)12 | (2)6 | (2)6 | (4)12 |
| **8.2** | 3 | (2)6 | (4)12 | (2)6 | (3)9 | (4)12 |
| **8.3** | 2 | (3)6 | (2)4 | (1)2 | (3)6 | (4)8 |
| **8.4** | 1 | (4)4 | (2)2 | (4)4 | (2)2 | (4)4 |
| **Score:** | | **29** | **40** | **21** | **31** | **48** |
| **Procent:** | | **60,4 %** | **83,3 %** | **43,8 %** | **64,6 %** | **100 %** |

### 2.5.3.*Resultaat*

De percentages die bij de toetsingen zijn berekend kunnen grafisch worden weergegeven in een keuzegrafiek (figuur 2.11). Het beste concept bevindt zich het dichtst bij het 'ideaal', in de rechter bovenhoek.




**Figuur 2.11. De keuzegrafiek**

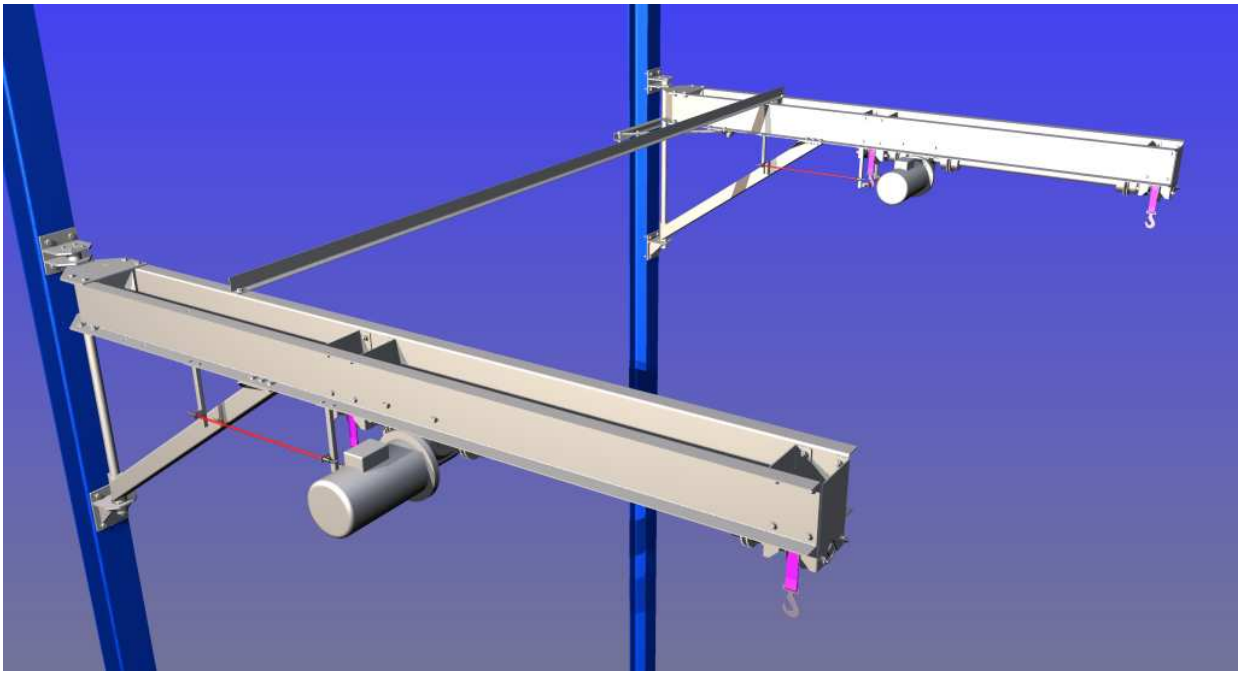
In de multi criteria analyse voldoet concept 2 het beste aan de variabele eisen. Dit concept zal dus worden uitgewerkt in de vormgevende fase.

# 3. Vormgevende fase

In deze vormgevende fase zal dit eindontwerp in de acht categorieën van het pakket van eisen worden behandeld. Hierbij wordt met behulp van keuzematrices en berekeningen het ontwerp onderbouwd.

## 3.1. Primaire functie

De aanhangwagenkraan bestaat uit twee (bijna) identieke hijsarmen (zie figuur 3.1). Deze twee armen zijn scharnierend aan de HEA 160 balken aan de muur gemonteerd. Op beide hijsarmen bevinden zich twee haspels welke aangedreven worden door een motorreductor.



**Figuur 3.1. De parkeeroplossing**

### 3.1.1.*De bediening*

In tabel 3.1 staat een stappenplan voor het stallen van de schamelwagen. De tijden voor alle 'handmatige' bediening zijn geschat. Voor de elektrische bediende handelingen is een berekening gemaakt.

**Tabel 3.1. Stappenplan voor de bediening**

| Nr. | Bediening | Handeling | Tijd (s) |
|---|---|---|---|
| **1** | Elektrisch | De hijsarmen worden uitgeklapt. | 8 |
| **2** | Elektrisch | de hijsdraden laat men zakken. | 32 |
| **3** | Handmatig | De hijshaken worden aan de hijsogen in de aanhangwagen gehaakt. | 60 |
| **4** | Handmatig | Het voorwielstel wordt vastgemaakt. | 30 |
| **5** | Elektrisch | De aanhangwagen wordt opgehesen. | 32 |
| **Totaal** | | | **162** |
| **1** | Elektrisch | De aanhangwagen laat men zakken. | 32 |
| **2** | Handmatig | De hijshaken worden losgekoppeld van de aanhangwagen. | 40 |
| **3** | Handmatig | Het voorwielstel wordt losgemaakt | 20 |
| **4** | Elektrisch | De hijsdraden worden opgehesen. | 32 |
| **5** | Elektrisch | De hijsarmen worden ingeklapt. | 8 |
| **Totaal** | | | **132** |

### 3.1.2.*De hoogte*

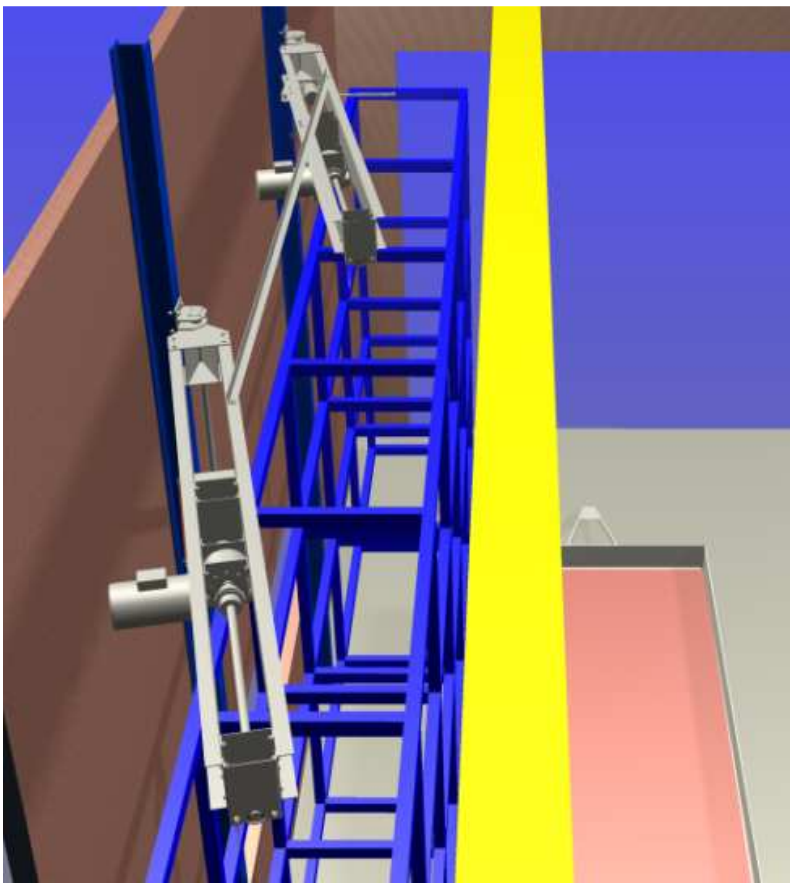
In het pakket van eisen staat dat het gebruik van de stellingen niet mag worden gehinderd, dat vrachtwagens in moeten kunnen rijden en dat bovenloopkraan nog moet kunnen worden gebruikt. Er blijft nu een strook aan ruimte over waarin de hijsconstructie moet passen. In figuur 3.2. staan de hoogtes van de verschillende onderdelen. Het figuur laat zien dat geen van de omgevingsdelen wordt gehinderd.




**Figuur 3.2. De hoogte van de aanhangwagenkraan (boven de werkplaatsvloer)**

### 3.1.3.*Inklappen*

De aanhangwagenkraan kan worden ingeklapt wanneer de bovenloopkraan moet worden gebruikt in de noordwestelijke hoek van de werkplaats. Dit kan uiteraard alleen wanneer de aanhangwagen niet aan de aanhangwagenkraan is gekoppeld. In figuur 3.3 is de hijsconstructie te zien waarbij de armen zijn ingeklapt. De twee hijsarmen hangen dan volledig boven de stellingen. Nu kan men met de bovenloopkraan goederen (op de aanhangwagen) laden en lossen.



**Figuur 3.3. Ingeklapte hijsarmen**

## *Belasting en capaciteit*

De vormgeving van een groot deel van de onderdelen in het ontwerp wordt bepaald door de opgelegde belastingen. In deze paragraaf wordt per samenstelling bekeken welke krachten er optreden en welke onderdelen er dan nodig zijn. Het ontwerp wordt opgedeeld in drie samenstellingen:

- Het hijsmechanisme
- Het frame
- Het klapmechanisme

De berekeningen die behoren tot deze paragraaf zijn te vinden in de bijlagen I tot en met V. De berekeningen zijn iteratief; ‘berekening A’ heeft invloed op ‘berekening B’, welke weer invloed heeft op ‘berekening A’. Door aannames te doen en berekeningen enkele malen te herhalen kan een benadering worden gevonden.

## 3.2. Belasting en capaciteit: het hijsmechanisme

Om de aanhangwagen op te hijsen is een hijsmechanisme nodig. Het hijsmechanisme van één hijsarm bestaat uit een motorreductor met een transmissieas en twee aandrijfassen met hijsdraden. De koppeling die de verschillende assen verbindt wordt behandeld in paragraaf 3.6. Deze koppeling dient namelijk vooral voor het vergemakkelijken van het onderhoud en de assemblage.

### 3.2.1. *Hijsdraad*

Voor het hijsen van objecten worden gewoonlijk hijsbanden, kettingen of kabels gebruikt. Tabel 3.2 is een keuzematrix waarin wordt gekozen welk hijsdraad het beste in de aanhangwagenkraan past. Bij het kiezen van een juist hijsdraad wordt gelet op de volgende eisen:

- *Flexibiliteit*

Wanneer het draad flexibel genoeg is kan het over kleine katrollen en op kleine haspels. Kleine katrollen en haspels zijn belangrijk omdat de afmeting van de hijsconstructie beperkt is.

- *Kosten*

De kosten van een onderdeel spelen altijd een rol. Bij het toekennen van deze score is gekeken naar de prijs van zes meter draad, één haspel en één katrol voor lasten van ongeveer 1000 kg.

- Fabricage

Voor de score op fabricage is gekeken naar de maakbaarheid van katrollen en haspels.

- *Kwetsbaarheid*

Hiervoor is gekeken naar de kans op en de gevolgen van beschadiging aan het draad.

**Tabel 3.2. Keuzematrix: hijsdraad**

| | | ***Hijsdraad*** | | |
|---|---|---|---|---|
| | WF (max. 3) | ***Hijsband (polyester)*** | ***Ketting (staal)*** | ***Kabel (staal)*** |
| **Flexibiliteit** | 3 | (4) 8 | (2) 4 | (1) 2 |
| **Kosten** | 2 | (3) 6 | (2) 4 | (4) 8 |
| **Fabricage** | 1 | (4) 4 | (1) 1 | (2) 2 |
| **Kwetsbaarheid** | 3 | (2) 6 | (4) 12 | (3) 9 |
| **Resultaat** | | **24** | **21** | **21** |

De hijsband komt als beste uit de keuzematrix. Een risico van het gebruik van hijsbanden is de kwetsbaarheid. Om dit risico zo veel mogelijk de verminderen worden scherpe randen rond de ophangpunten vermeden.

In bijlage I wordt de kracht op een hijsband berekend. De kracht die op een hijsband werkt is 5,1 kN. Volgens de machinerichtlijn moeten hijsbanden van textiel uitgevoerd worden met een veiligheidsfactor van ‘7’. De gekozen hijsband mag dus pas falen bij een kracht die hoger is dan 47,7 kN.

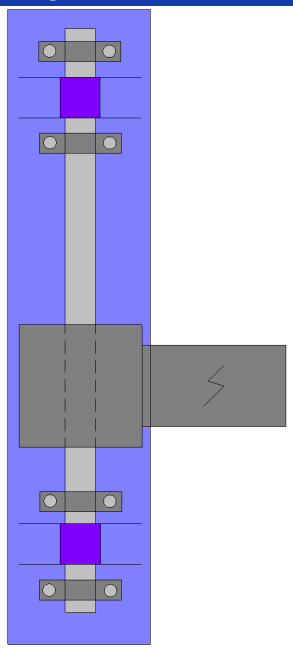
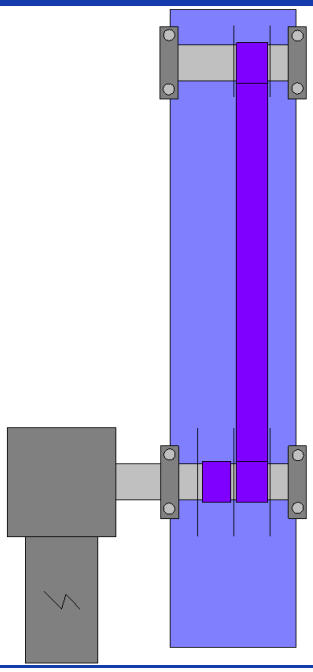
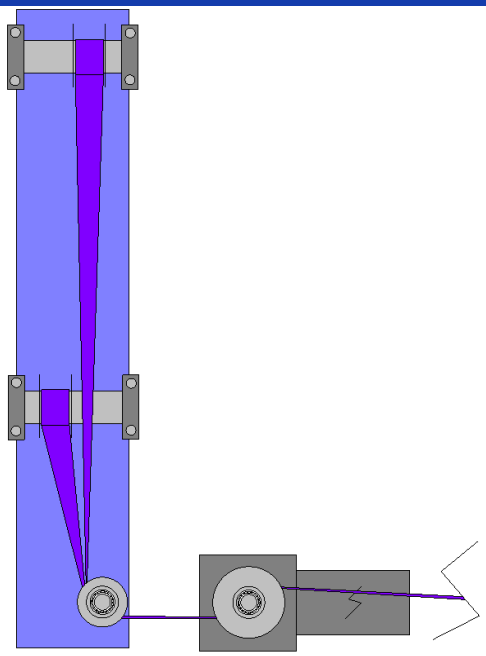
*Koster IT* is een bedrijf dat onder andere polyester banden maakt. De SB 551/35 is een polyester sjorband dat pas faalt bij een kracht van ongeveer 58,9 kN. De band is 35 millimeter breed en 2 millimeter dik[4]. Deze band kan worden gebruikt in de aanhangwagenkraan.

Sjorbanden zijn bijna het zelfde als hijsbanden; er zijn twee verschillen. Allereerst is een sjorband vaak platter en breder dan een hijsband. Hierdoor zijn de sjorbanden gemakkelijk met ratels op te rollen. Daarnaast hoeven sjorbanden slechts een veiligheidsfactor van '4' te hebben. Deze veiligheidsfactor is voor de aanhangwagenkraan omgerekend, zodat er alsnog een veiligheidsfactor van '7' wordt gebruikt.

### 3.2.2. *De hijsinrichting*

De aanhangwagen wordt aan vier hijsbanden opgehesen met één of twee motorreductoren. De motorreductoren zullen de hijsbanden op haspels rollen. De hijsinrichting kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. In tabel 3.3 staan drie verschillende uitvoeringen. Hierbij wordt telkens het bovenaanzicht van één arm en de belangrijkste benodigdheden voor twee hijsarmen gegeven.

**Tabel 3.3. Mogelijke hijsinrichtingen**

| Lange as | Korte as | Eén motor |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 2 motorreductoren<br>4 haspels<br>± 20 m hijsband | 2 motorreductoren<br>4 haspels<br>2 katrollen<br>± 24 m hijsband | 1 motorreductor<br>4 haspels<br>8 katrollen<br>± 36 m hijsband |

[4] Bron: http://www.koster-it.nl/

De keuze tussen de verschillende hijsinrichtingen wordt gemaakt met behulp van een keuzematrix (zie tabel 3.4). Er wordt gelet op de volgende eisen:

- *Assemblage*
Bij assemblage wordt vooral gekeken naar hoe de onderdelen van een hijsinrichting te assembleren, fabriceren en monteren zijn. Ook wordt er gekeken naar hoe eenvoudig een defect onderdeel is te vervangen.

- *Kosten*
De kosten hebben vooral betrekking op het aantal verschillende onderdelen. De prijs van één grote of twee kleine motorreductoren is ongeveer gelijk.

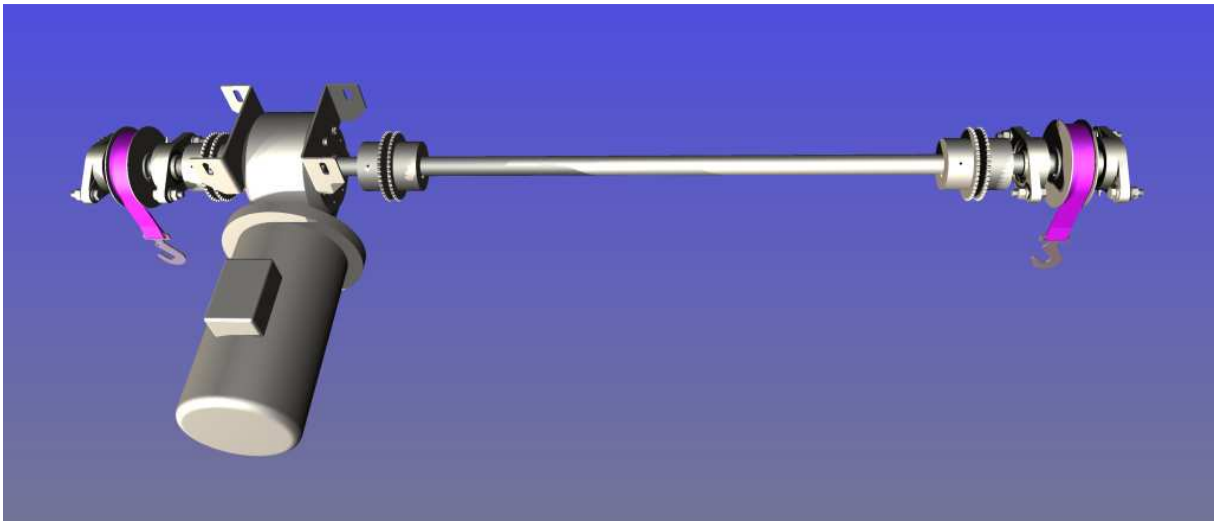
- *Veiligheid*
Bij de veiligheid wordt gekeken naar de kans dat de aanhangwagen scheef opgehesen wordt. Ook de lengte en het aantal bochten van de hijsbanden is belangrijk; deze vergroten de kans op slijtage of schade aan de hijsbanden.

**Tabel 3.4. Keuzematrix: hijsinrichting**

| | ***Hijsinrichting*** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | WF (max. 3) | **Lange as** | **Korte as** | **Eén motor** |
| **Assemblage** | 2 | (4) 8 | (3) 6 | (2) 4 |
| **Kosten** | 2 | (3) 6 | (4) 8 | (3) 6 |
| **Veiligheid** | 3 | (4) 12 | (3) 9 | (2) 4 |
| **Resultaat** | | **26** | **23** | **14** |

De hijsinrichting met twee motorreductoren en lange assen komt als beste uit de keuzematrix. Bij dit concept worden de hijsbanden meteen op de haspel gerold. Het gebrek aan katrollen zorgt ervoor dat de hijsbanden minder snel beschadigen.

In het ontwerp ziet de hijsinrichting eruit zoals in figuur 3.4.



**Figuur 3.4. De hijsinrichting**

### 3.2.3.*Motorreductor*

In hijs- en hefconstructies wordt vrijwel altijd een wormwielreductor gebruikt. Wormwielreductoren zijn meestal zelfremmend, wat de veiligheid enorm vergroot. Wanneer door bijvoorbeeld stroomuitval de elektromotor uit wordt geschakeld zal de last nooit naar beneden storten.

**Het lastkoppel**

De diameter van de haspels wordt groter wanneer de aanhangwagen wordt opgehesen. Dit zorgt er voor dat de hijssnelheid en het lastkoppel groter wordt, naarmate de aanhangwagen wordt opgehesen. Wanneer de aanhangwagen zich op de maximale hijshoogte bevind, is het lastkoppel 326 Nm. Dit blijkt uit de berekeningen in bijlage II.

**Het toerental**

De hijstijd is afhankelijk van het toerental. Een 7,5 kW elektromotor kan de aanhangwagen binnen ongeveer zes seconden op de stalpositie hebben. De vraag is echter of dit veilig is. Daarnaast betekent een hogere hijssnelheid grotere motoren en hogere krachten, welke de kosten opdrijven.

Een hijstijd van ongeveer 30 seconden is veilig en toch kort genoeg zodat de bediener zich niet gaat vervelen. Om een hijstijd van 30 seconden te halen is een uitgaand toerental van 33 omw/min nodig. Een motorreductor van 1,5 kW past hier bij.

**Motorkeuze**

*Elsto* is een leverancier van motorreductoren aan *Robur.* In de catalogus van dit bedrijf staat een motorreductor die goed bij de capaciteitseisen past.[5] Er is gekozen voor een motorreductor met een vermogen van 1,5 kW. Het uitgaande toerental is 31 omw/min, met een uitgaand koppel van 329 Nm. Deze motorreductor is geschikt voor de ‘matig stotende belasting’ die deze zal ondervinden (zie bijlage II).

De reductorverhouding van de gekozen motorreductor is 30. Hiermee is de reductor variabel statisch niet omkeerbaar. Dit houdt in dat met trillingen de motorreductor wel kan teruglopen. Daarom wordt er een rem op de motor gemonteerd.

[5] Elsto aandrijftechniek, Bonfiglioli. *Reductoren*

### 3.2.4.*Assen*

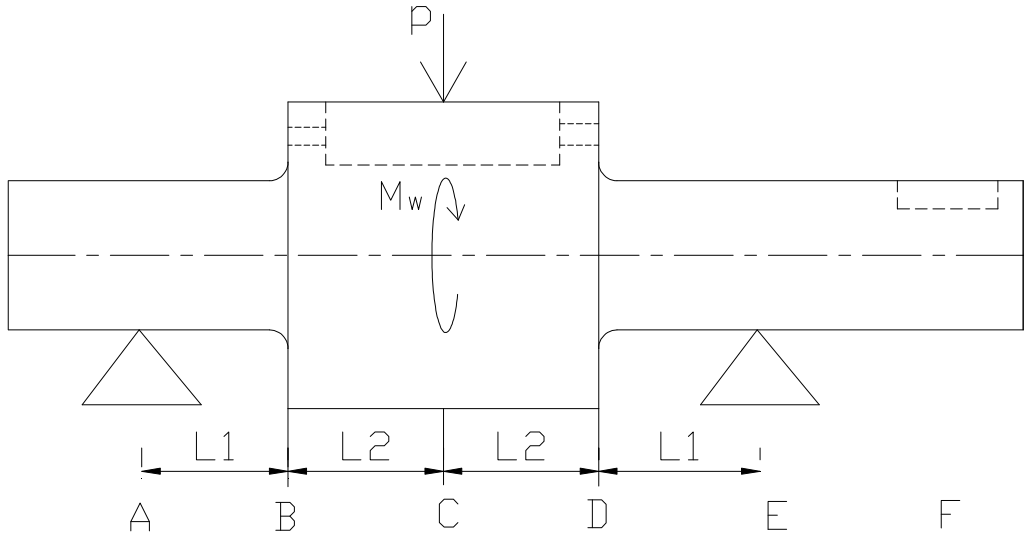
In bijlage III worden de asdiameters berekend. Uit deze berekening blijkt dat de assen gemaakt moeten worden van het staalsoort E295. Dit staalsoort is iets duurder dan 'normaal' constructiestaal S235. Bij assen van het zwakkere S235 zouden de asdiameters groter moeten worden geconstrueerd. Dit zou leiden tot een grotere haspeldiameter en dus een duurdere motorreductor.

Een samenvatting van de berekening is te vinden in tabel 3.5. In figuur 3.5 is de aandrijfas getekend; hierin staan ook de berekende punten op de as.

**Tabel 3.5. Samenvatting diameterberekeningen**

| | Punt B | Punt C | Punt D | Punt F | |
|---|---|---|---|---|---|
| Soort belastend moment<br>Vormverandering | Buigend<br>D-sprong | Ideëel<br>Sleuf* | Ideëel<br>D-sprong | Wringend<br>Spiesleuf | |
| *Wringend moment* $M_W$ | - | 329 | 329 | 329 | Nm |
| *Buigend moment* $M_B$ | 88,6 | 151,9 | 92 | - | Nm |
| *Ideëel moment* $M_i$ | - | 260 | 226 | - | Nm |
| *Toelaatbare spanning* $\overline{\sigma_b}$ *of* $\overline{\tau_w}$ | 61,0 | 86,0 | 61,0 | 49,0 | MPa |
| *Weerstandsmoment* $W_b$ *of* $W_w$ | $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ | $2{,}9 \cdot 10^{-6}$ | $3{,}6 \cdot 10^{-6}$ | $8{,}4 \cdot 10^{-6}$ | $m^3$ |
| *Benodigde diameter* $D_{Benodigd}$ | 0,0245 | 0,0310 | 0,0331 | 0,0350 | m |
| *Gebruikte diameter* $D_{gebruikt}$ | **0,035** | **0,034*** | **0,035** | **0,035** | m |

*De sleuf in punt C dient als bevestiging voor de hijsband. In bijlage III wordt uitgelegd hoe deze is verwerkt in de berekening.




**Figuur 3.5. De aandrijfas**

**De aandrijfas**

Op de aandrijfas worden twee flensen en een hijsband gemonteerd. Hierdoor fungeert de aandrijfas als haspel. De aandrijfassen worden belast op zowel een buigend als een wringend moment. Een aandrijfas wordt opgehangen aan twee flenskogellagers.

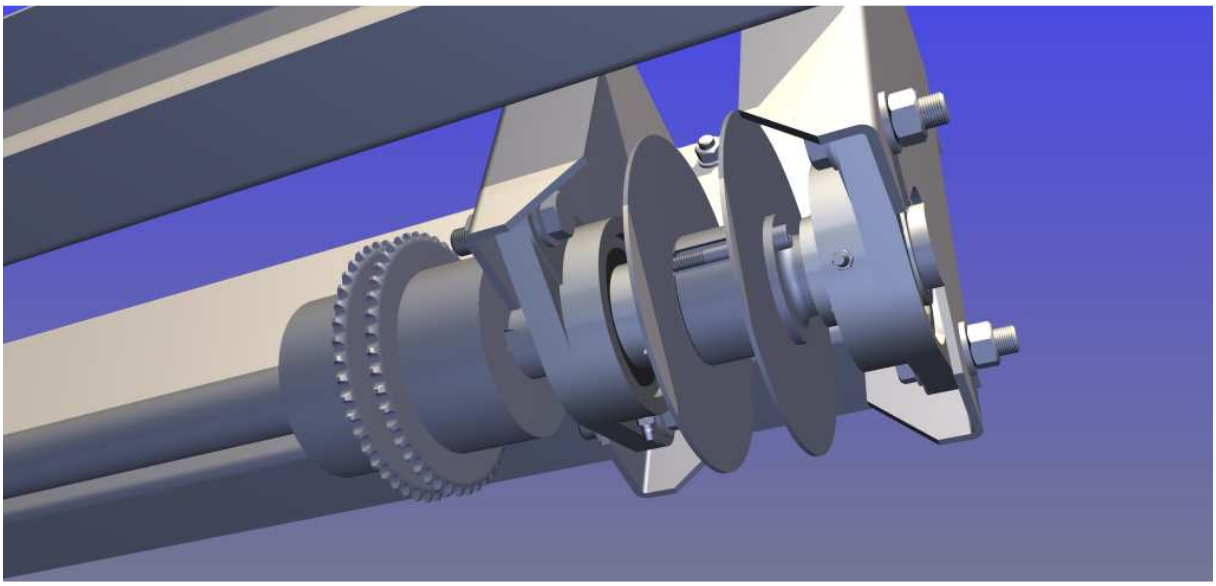
De aandrijfas krijgt een diameter van 35 millimeter. Op de as komt een verdikking van 58 millimeter, welke dient als haspel. Deze diametersprong is nodig voor het bevestigen van een hijsband. De aandrijfas, de kettingkoppeling en een deel van de transmissieas zijn afgebeeld in figuur 3.6.

**De transmissieas**

De transmissieas krijgt ook een diameter van 35 millimeter. De transmissieas is namelijk het zelfde als de aandrijfas in punt C. Op de uiteinden van de transmissieas worden twee spiesleuven gefreesd voor de koppelingen.

**De reductoras**

De doorgaande as van de motorreductor wordt 35 millimeter. Dit is de asdiameter die behoort tot de gekozen motorreductor.



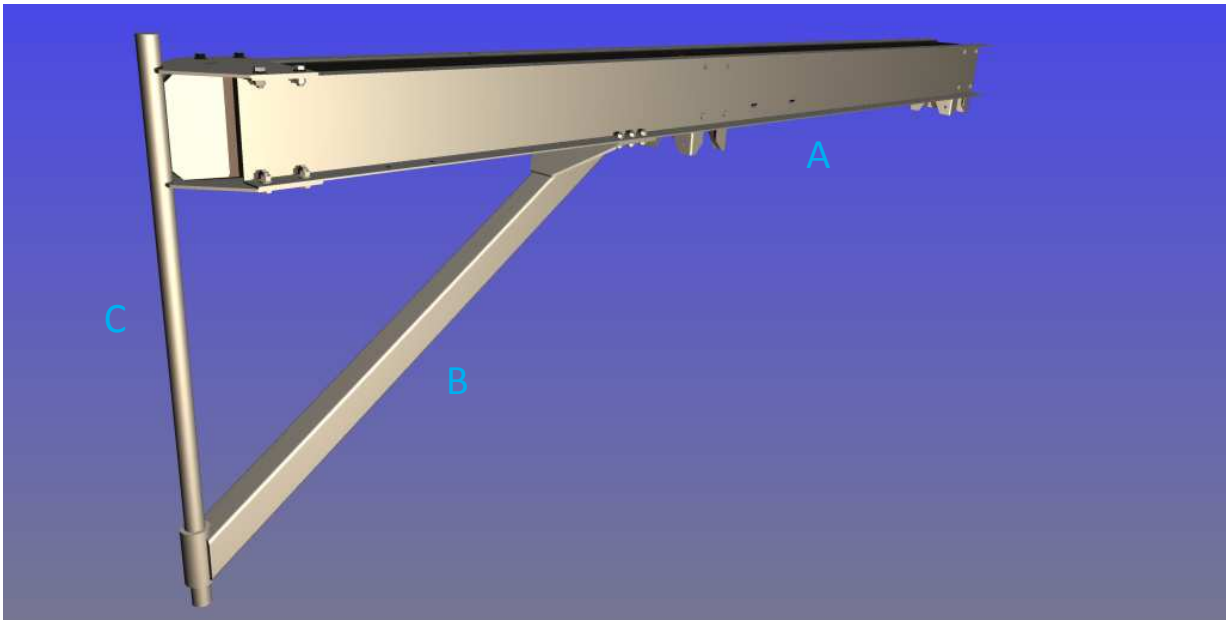
**Figuur 3.6. De aandrijfas/haspel (zonder hijsbanden)**

## 3.3. Belasting en capaciteit: het frame

Het frame dient als drager van het hijsmechanisme en de sensoren. Met de eindige elementen methode is bewezen dat het frame niet zal bezwijken onder de optredende spanningen (zie bijlage IV).

### 3.3.1. *Vormgeving en spanning*

Het frame bestaat uit drie elementen (zie figuur 3.7). De gegevens van deze elementen staan in tabel 3.6. Hierin zijn ook de optredende en toelaatbare spanningen opgenomen.




**Figuur 3.7. Het frame van een hijsarm**

**Tabel 3.6. Gegevens van de elementen**

| Element | Profiel | Soort belasting | Optredende spanning (MPa) | Toelaatbare spanning (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| **A** | 2 X U-profiel 200x60x4 mm | Trek/buiging | 86,5 | 110,0 |
| **B** | Vierkante buis 80x80x5 mm | Druk/ buiging | 51,4 | 63,2 |
| **C** | Ronde staaf 40 mm | Trek/buiging<br>Afschuiving | 20,0<br>7,6 | 110,0<br>77,0 |

**Element A**

Aan element A wordt het hijsmechanisme gemonteerd. Hierdoor wordt deze belast met een groot buigend moment. Er is daarom gekozen voor een profiel met een hoog oppervlaktetraagheidsmoment. Element A bestaat uit twee U-profielen waartussen het hijsmechanisme wordt gemonteerd.

**Element B**

Element B is onderhevig aan een drukkracht en een buigend moment. Deze combinatie zorgt voor een kans op knikken. Volgens de AISC-richtlijn is berekend wat de toelaatbare spanning is in het element. De AISC-richtlijn houdt, anders dan de knikformules van Euler, rekening met 'niet ideale kolommen'. Het element zal namelijk nooit perfect recht zijn en de spanningen zullen nooit gelijkmatig over de oppervlaktedoorsnede verdeeld worden.

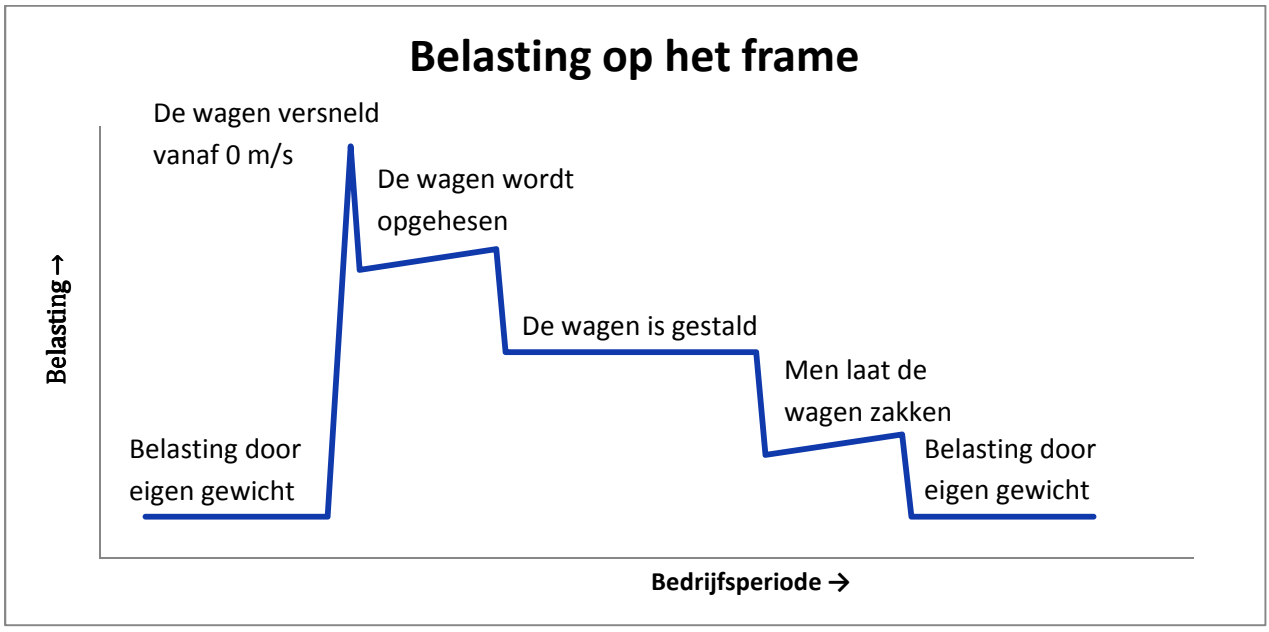
**Element C**

De hijsarm wordt met lagers aan de uiteindes van element C opgehangen. Het element wordt hier belast met een afschuifkracht. Daarnaast wordt element C belast met een trekkracht en een klein buigend moment.

### 3.3.2. *Spanningswisselingen*

Bij het berekenen van de toelaatbare spanning in de elementen is rekening gehouden met de sprongbelasting op het frame. Bij een sprongbelasting ondervindt een constructie afwisselend hoge en lage belastingen.

In figuur 3.8 staat het globale belastingspatroon in het frame tijdens het gebruik van de aanhangwagenkraan. De schommelingen in de belasting ontstaan door het ophijsen en laten zakken van de aanhangwagen. De hoogst optredende belasting ontstaat op het moment dat de motorreductor begint met hijsen.




**Figuur 3.8. Belastingspatroon op het frame**

In alle krachtberekeningen in dit rapport is de maximale kracht in de hijsbanden gebruikt. Deze kracht is berekend door het koppel van de motorreductor te delen door de begindiameter van de haspel. In de praktijk zal deze kracht maar een zeer korte tijd optreden, zoals te zien is in figuur 3.8.

## 3.4. Belasting en capaciteit: het klapmechanisme

De hijsarmen moeten kunnen wegklappen zodat de bovenloopkraan bij de noordwestelijke hoek kan komen. Hierdoor kan een machine, meteen nadat de aanhangwagen van zijn stalpositie komt, in de aanhangwagen gezet worden met de bovenloopkraan. Om het wegklappen van de hijsarmen mogelijk te maken zijn er een aantal onderdelen benodigd: lagers, een tandheugel, een motorreductor en een verbindingsstaaf. In deze paragraaf worden deze onderdelen gekozen.

### 3.4.1. *De lagers*

Een hijsarm wordt opgehangen aan twee (of drie) lagers. In de keuzematrix in tabel 3.7 wordt het soort lager gekozen. Bij deze keuze wordt gelet op de volgende eisen:

- *Kosten*

De kosten van een onderdeel lopen erg uiteen. Om de score op deze eis te bepalen is gekeken naar een lager met een binnendiameter van 40 millimeter, dat de belasting aankan.

- *Fabricage*

Bij deze eis wordt gekeken hoe gemakkelijk het lager in de aanhangwagenkraan is te monteren. Een voordeel hierbij kan zijn dat het lager in vele verschillende afmetingen verkrijgbaar is.

- *Wrijvingcoëfficiënt*

De lagers moeten een lage wrijvingcoëfficiënt hebben, zodat de benodigde kracht voor het inklappen laag blijft.

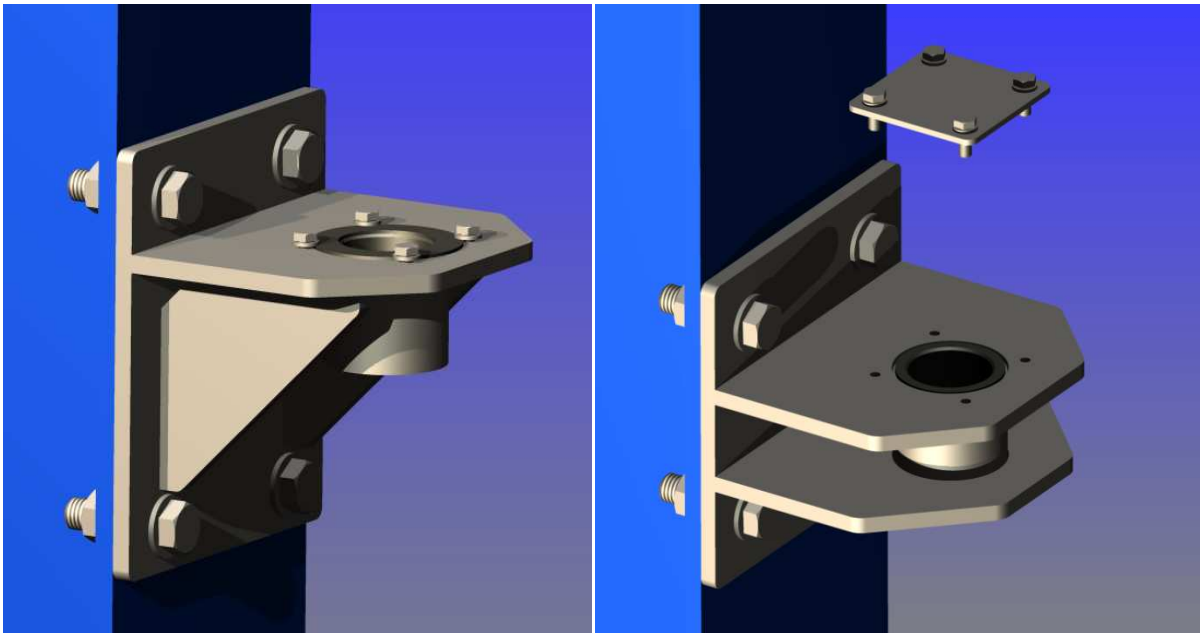
**Tabel 3.7. Keuzematrix: Lager**

| | | ***Lager*** | | |
|---|---|---|---|---|
| | WF (max. 3) | ***Kunststof glijlager*** | ***staal-teflon glijlager*** | ***Hoekcontact kogellager*** |
| **Kosten** | 3 | (4) 12 | (1) 3 | (1) 3 |
| **Fabricage** | 1 | (3) 3 | (3) 3 | (3) 3 |
| **Wrijvingcoëfficiënt** | 2 | (1) 2 | (3) 6 | (4) 8 |
| **Resultaat** | | **17** | **12** | **14** |

Het kunststof glijlager komt als beste uit de keuzematrix. Dit komt vooral door de lage prijs; een glijlager van staal en teflon of een hoekcontact kogellager in de gewenste afmeting kost ongeveer 65 euro per stuk, een kunststof glijlager kost rond de 5 euro per stuk.[6] De glijlagers zullen worden gekocht bij *Igus.*

[6] Bron: *http://www.schaeffler.nl/*

In de frameberekeningen komen drie reactiekrachten naar voren. Elk van deze krachten wordt door een lager opgevangen. De twee horizontale reactiekrachten worden opgevangen door een flens-glijlager met de naam GFM-4044-50. De verticale reactiekracht wordt opgevangen door één ring-glijlager met de naam GTM-4266-015. Het ring-glijlager wordt op zijn plaats gehouden door enkele bouten met sluitringen. (zie figuur 3.9)



**Figuur 3.9. De hijsarm-ophanging met glijlagers (links: onderste montagedeel, rechts: bovenste montagedeel)**

### 3.4.2.*De motorreductor*

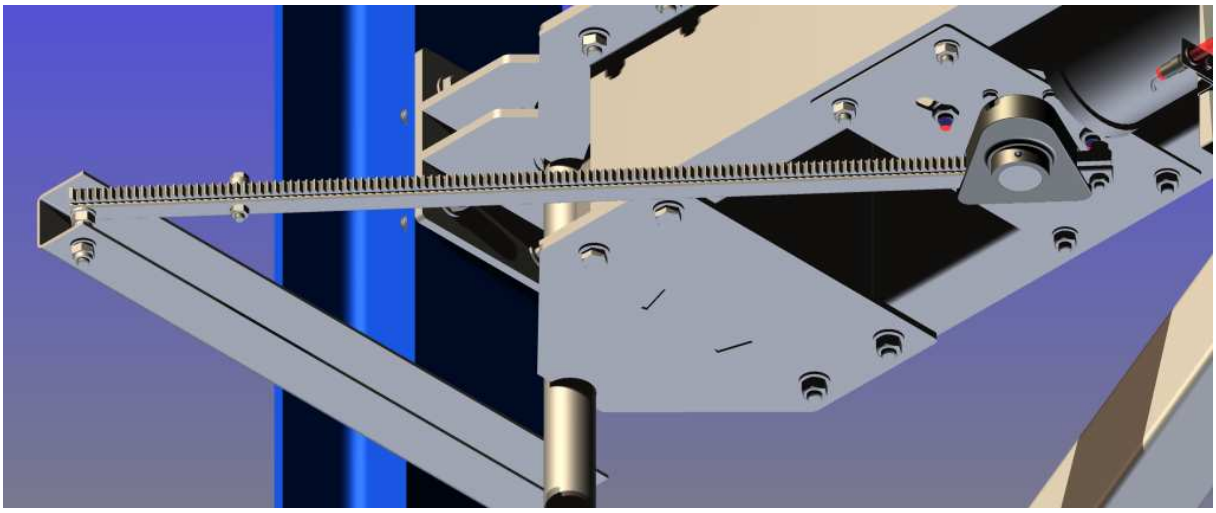
Eén van de hijsarmen zal worden in- en uitgeklapt door een motorreductor met tandheugel. De andere hijsarm zal meedraaien door een verbindingsstaaf tussen de twee hijsarmen.

Het vermogen van de motorreductor voor het in- en uitklappen van de hijsarmen wordt bepaald door de gewenste inklaptijd en het benodigde koppel. Dit koppel is afhankelijk van de wrijvingskracht van de lagers en de bevestiging van de tandheugel. In de tweede paragraaf van bijlage V wordt het toerental en het benodigde koppel berekend.

Uit de berekening blijkt dat de VF_30 N30 P56 BN 56B 4 van *Bonfiglioli* een geschikte motorreductor is voor het klapmechanisme. Deze motorreductor heeft een koppel van 12 Nm met een toerental van 44 omwentelingen per minuut. Op de uitgaande as komt een heugelwiel met heugelbehuizing.

### 3.4.3.*De heugel*

De heugel met heugelwiel en –behuizing worden gekocht bij *Lock.* De AZD 03.0208 is een tandheugel die bestand is tegen een normaalkracht van maximaal 300 Newton. Uit de berekening in de derde paragraaf bijlage V blijkt dat dit precies genoeg is voor het gebruik in de aanhangwagenkraan. In figuur 3.10 is de heugel in de aanhangwagenkraan afgebeeld.



**Figuur 3.10. De tandheugel**

### 3.4.4. *De verbindingsstaaf*

De staaf die de twee hijsarmen verbind wordt gemaakt uit een hoekprofiel met een afmeting van 60x40x3 millimeter. In de laatste paragraaf in bijlage V wordt met een berekening bewezen dat deze staaf niet zal knikken wanneer de hijsarmen inklappen. De berekening is uitgevoerd volgens de AISC richtlijn. Het eigengewicht van de staaf en de wisselende belasting is meegenomen in deze berekening.

## 3.5.Veiligheid

In deze paragraaf wordt toegelicht welke veiligheidsrichtlijnen zijn gevolgd. Er worden enkele voorbeelden genoemd hoe deze richtlijnen zijn toegepast. Daarnaast wordt beschreven hoe men de aanhangwagenkraan het veiligst kan bedienen en testen.

### 3.5.1.*Machinerichtlijn*

De machinerichtlijn is uiteraard van toepassing op de aanhangwagenkraan. In de machinerichtlijn staan algemene richtlijnen die gelden voor vrijwel iedere machine. Daarnaast staan er nog enkele veiligheidsnormen die gelden voor specifieke producten. Er is een aparte paragraaf over hijs- en hefgereedschappen.

De meeste richtlijnen zijn erg logisch: De last mag niet vallen wanneer de krachtbron uitvalt of wanneer de bediener stopt met bedienen; De grijporganen moeten zo zijn geconstrueerd dat ongewild vallen van de last wordt vermeden; Het werktuig moet zijn uitgerust met systemen waarmee het risico op botsen van de last en het werktuig kan worden vermeden.

Er staan ook nog concretere richtlijnen over hef- en hijsgereedschappen. Zo wordt bijvoorbeeld beschreven dat kabels van textielvezel in de regel een gebruikscoëfficiënt van ‘7’ moeten hebben. Deze en andere richtlijnen zijn meegenomen in het ontwerp.[7]

### 3.5.2.*Laagspanningsrichtlijn*

De laagspanningsrichtlijn is van toepassing op alle elektrische apparaten. De sensoren, PLC en elektromotoren vallen dus onder deze richtlijn. Op de installatie en bekabeling na heeft *Robur* weinig te maken met deze richtlijn. Vooral de fabrikanten van de elektrische componenten moeten ervoor zorgen dat hun producten veilig zijn. Met een CE-markering laat een fabrikant zien dat het component aan de Europese veiligheidseisen voldoet. In het ontwerp zijn alleen (elektrische) componenten verwerkt waaraan deze CE-markering is toegekend.

### 3.5.3.*Liftenrichtlijn*

In het pakket van eisen en wensen staat de eis: ‘het ontwerp valt niet onder de liftenrichtlijn’. Wanneer de hijsconstructie als (personen)lift kan dienen, moeten er extra veiligheidsmaatregelen worden genomen. Bij deze maatregelen horen bijvoorbeeld een veiligheidscertificaat en een strenge periodieke controle.

In de werkwijze bepalende fase is voor een concept gekozen dat nooit als lift kan dienen. Liften hebben namelijk een cabine, waar een inzittende de lift kan bedienen.[8]

### 3.5.4.*Arbowet*

In de arbeidsomstandighedenwet staan enkele voorschiften voor het hijsen en heffen van lasten. Een aantal van deze voorschriften zijn overgenomen uit de machine richtlijn. De voorschriften gaan vooral over de mensen die met en rondom de constructie werken na de ingebruikname.

De belangrijkste voorschriften stellen: *Doeltreffende maatregelen worden genomen om ervoor te zorgen dat werknemers zich niet ophouden onder hangende lasten*; *Een hijswerktuig wordt, behalve ten beproeving, niet zwaarder belast dan te toegelaten bedrijfslast.*[9]

[7]Bron: Machinerichtlijn 2006/42/EG bijlage 4
[8] Bron: *http://www.euronorm.net/*

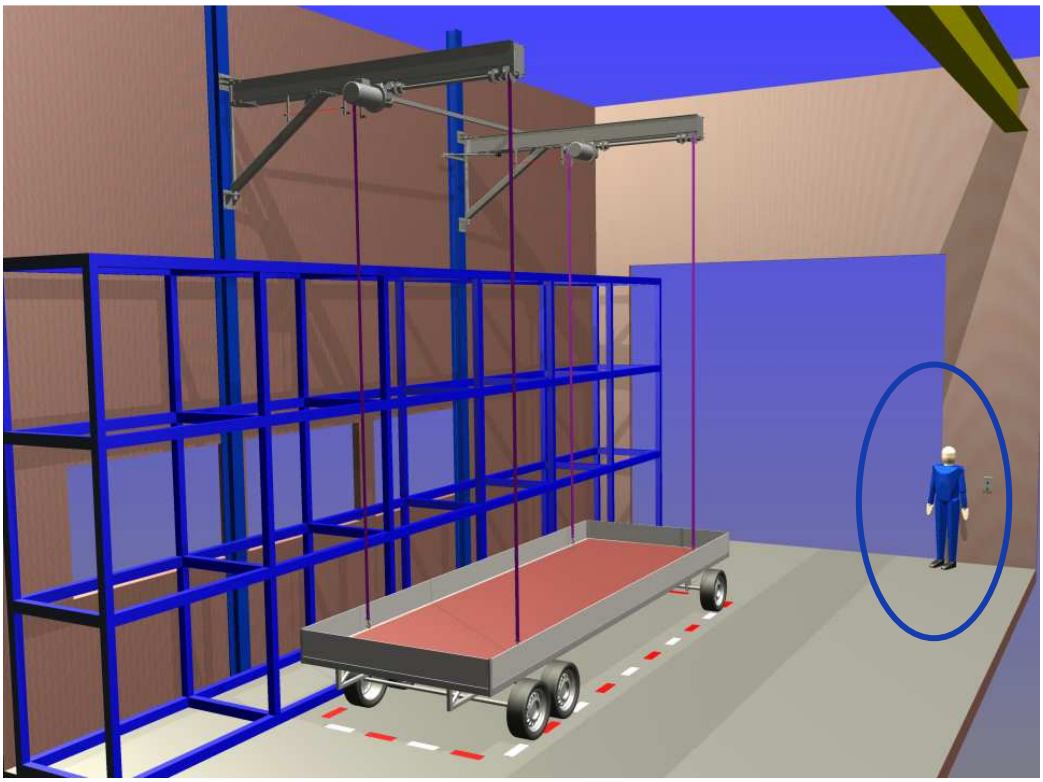
### 3.5.5.*Bediening en veiligheid*

Bij het bedienen van de aanhangwagenkraan wordt automatisch op de veiligheid gelet. Dit komt doordat de handelingen voor het stallen van de wagen, die de bediener ook dwingt enkele veiligheidsmaatregelen te nemen.

**Het knoppenpaneel**

De knoppen op het paneel moeten monostabiel zijn. Dit betekend dat de knop in een stand blijft staan zolang deze bediend wordt. Op deze manier van bedienen is er geen veiligheidscircuit met noodstopvoorziening nodig. Daarnaast moet het knoppenpaneel op een locatie worden gemonteerd waarvandaan de bediener de hijsconstructie en de aanhangwagen goed kan zien; bijvoorbeeld naast de overheaddeur (zie figuur 3.11). Deze twee veiligheidaspecten samen dwingt de bediener goed op te letten op de hijsconstructie en omgeving. Bij eventuele problemen kan de bediener de knop loslaten waardoor de aanhangwagenkraan tot stilstand komt.

Een probleem kan zijn dat één van de motorreductoren niet werkt. Hierdoor wordt de aanhangwagen scheef omhoog gehesen. Dit probleem is gemakkelijk te herkennen wanneer de bediener oplet.



**Figuur 3.11. Goed zicht vanaf de bedieningsplek**

[9] Bron: *http:/maxius.nl/;* Artikel 7.18 Arbeidsomstandighedenbesluit

**Het koppelen**

Doordat de hijshaken aan ogen in de aanhangwagenbak worden bevestigd, wordt de bediener gedwongen om in de bak te kijken. Hierbij controleert hij meteen of de aanhangwagen leeg is. De constructie is namelijk ontworpen om alleen de massa van de aanhangwagen op te hijsen. Het is dan ook noodzakelijk om een markering met de toegestane hijslast nabij de bedieningsplaats aan te brengen.

De bediener is dus erg belangrijk voor het veilig gebruiken van de aanhangwagenkraan. In paragraaf 3.8 wordt beschreven hoe sensoren de bediener ondersteunen bij het veilig gebruiken van de aanhangwagenkraan.

### 3.5.6. *Testen*

De berekeningen in dit verslag zijn geen garantie voor een vlekkeloze werking. Met het berekenen van frame is geen rekening gehouden met de verbindingen tussen de elementen. Ook de interne materiaalspanningen die ontstaan bij het lassen en assembleren zijn niet meegenomen in de berekening.

Daarom moet de aanhangwagenkraan voor ingebruikname worden getest. Volgens de machinerichtlijn moet dit met een beproevingslast van 110% van de maximaal toelaatbare bedrijfslast. De test kan men het beste uitvoeren door zakken zand of water van 275 kilogram aan iedere hijshaak te bevestigen. Wanneer de hijsconstructie na enkele testen geen plastische vervorming vertoond kan men de constructie testen met de aanhangwagen.

## 3.6. Onderhoud

Voor een veilig gebruik is goed onderhoud erg belangrijk. In deze paragraaf wordt beschreven welke onderdelen er zijn gekozen voor het vergemakkelijken of verminderen van het onderhoud. Daarna wordt beschreven welke kwetsbare onderdelen regelmatig moeten worden gecontroleerd.

### 3.6.1. *Koppelingen*

De kogellagers en hijsbanden zijn kwetsbare onderdelen in de constructie. In het ontwerp moet dus rekening gehouden worden met vervanging van deze onderdelen. Het is handig als de assen dan demontabel zijn. Om die rede wordt er tussen de transmissieassen en de aandrijfassen een koppeling gemonteerd.

Koppelingen zijn er in alle soorten en maten. De koppeling in de aanhangwagenkraan moet kleine uitlijnfouten op kunnen vangen, demontabel zijn en een koppel van minimaal 329 Nm over kunnen brengen. Het soort koppeling wordt met behulp van een keuzematrix bepaald. Hierin worden de verschillende koppelingen op de volgende variabele eisen getoetst:

- *Asverzwakking*

Een belangrijke factor bij het bepalen van de asdiameter is de kerffactor. Deze factor heeft betrekking op onder andere sleuven en dwarsboringen in de as. Wanneer de koppeling op de as gemonteerd wordt met een spieverbinding geeft dit een lagere asverzwakking dan een montage met dwarsboring.

- *Fabricage en demontage*

Bij deze eis wordt gekeken hoe lastig het is om de koppeling te monteren en te demonteren. Voor het vervangen van een lager of hijsband is het gemakkelijk demonteren van de koppeling erg belangrijk, de constructie hangt immers op een hoogte van ongeveer vijf meter.

- *Kosten*

De kosten van een koppeling zijn laag in verhouding tot de andere inkoopdelen. Daarom is heeft deze eis een lage weegfactor.

**Tabel 3.8. Keuzematrix: koppeling**

| | | ***Koppeling*** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | WF (max. 3) | **Bus koppeling** | **Klauw koppeling** | **Ketting koppeling** | **Pennen koppeling** |
| **Asverzwakking** | 2 | (1) 2 | (3) 6 | (3) 6 | (3) 6 |
| **Fabricage en demontage** | 3 | (3) 9 | (2) 6 | (3) 9 | (2) 6 |
| **Kosten** | 1 | (4) 4 | (2) 2 | (2) 2 | (2) 2 |
| **Resultaat** | | **15** | **14** | **17** | **14** |

De kettingkoppeling is volgens de keuzematrix de beste oplossing. Dit komt doordat deze koppeling gemakkelijk te demonteren is. Daarnaast maakt deze koppeling gebruik van een spieverbinding, waardoor de assen minder verzwakt worden dan bij een dwarsboring.

*SKF* is een fabrikant die onderdelen maakt voor krachtoverbrengingen. De *IS1218* is een kettingkoppeling die een nominaal koppel kan overbrengen van 630 Nm. Dit is ruim voldoende voor het gebruik in de aanhangwagenkraan. De asdiameter van de kettingkoppeling wordt op maat geboord, daarna wordt een spiesleuf in de binnendiameter gefreesd.

### 3.6.2.*Corrosiepreventie*

Het frame, de assen en de lagers zijn gemaakt van staal. Er zijn verschillende manieren om corrosie bij stalen onderdelen tegen te gaan.

De lagers zijn verkrijgbaar in een RvS uitvoering met afdichtingen aan beide kanten. Op deze manier zijn de kogellagers beschermd tegen corrosie en vuil.

Voor het frame en de assen is een andere nabewerking misschien rendabeler. Met een keuzematrix wordt bepaald welke manier van nabewerking het best is voor het frame en de assen.

- *Kosten*

De kosten van de behandeling (of het andere materiaalsoort) spelen een flinke rol in de totale materiaalkosten. Deze eis krijgt daarom de hoogste weegfactor.

- *Bestendigheid tegen beschadiging*

Tijdens het monteren of assembleren kunnen onderdelen beschadigd raken. Het frame of de assen mogen op deze beschadigde plekken na verloop van tijd niet gaan roesten.

- *Uiterlijk*

Deze eis gaat over de mogelijkheden die de behandeling biedt tot het verfraaien van de constructie.

**Tabel 3.9. Keuzematrix: Corrosiepreventie**

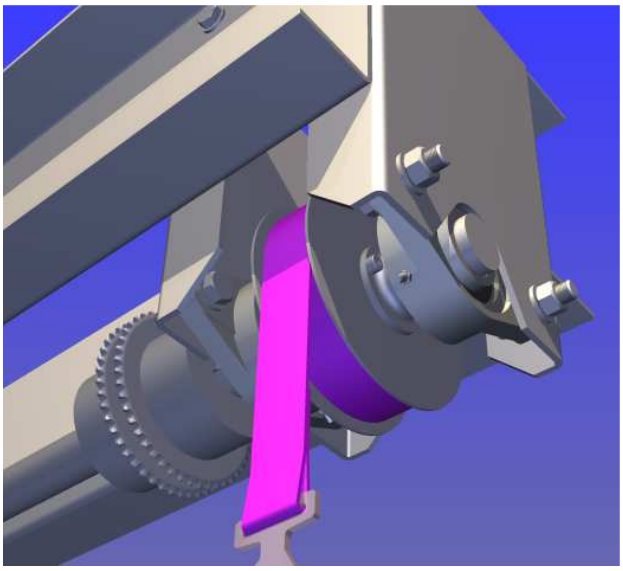
| ***Corrosiepreventie*** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | WF (max. 3) | **Poedercoaten** | **Elektrolytisch verzinken** | **Vervaardigen uit RVS** |
| **Kosten** | 3 | (2) 6 | (4) 12 | (1) 3 |
| **Bestendigheid tegen beschadiging** | 2 | (2) 4 | (2) 4 | (4) 8 |
| **Uiterlijk** | 1 | (4) 4 | (1) 1 | (1) 1 |
| **Resultaat** | | **14** | **17** | **12** |

Het elektrolytisch verzinken van de onderdelen komt als beste uit de keuzematrix. De stalen onderdelen worden dus nabewerkt door elektrolytisch verzinken. De goede score komt door de relatief lage kosten en de bestendigheid tegen kleine beschadigingen.

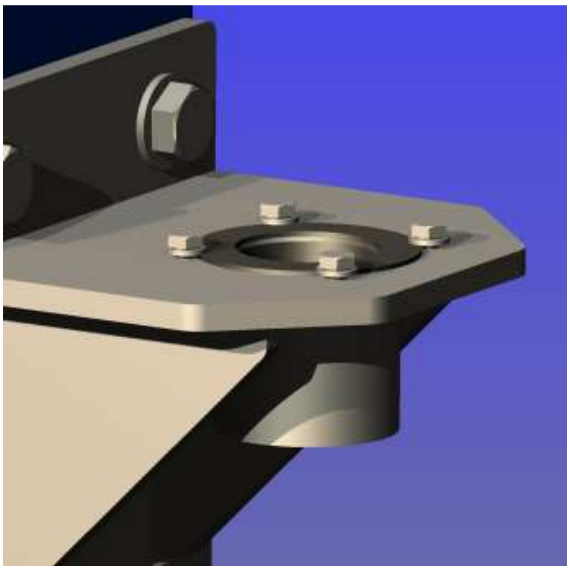
Elektrolytisch verzinkte onderdelen hebben een zinklaag dat het onderliggende materiaal beschermd. Met deze behandeling wordt het onderdeel ondergedompeld in een bad. Hierdoor worden ook de lastig te bereiken vlakken van een onderdeel behandeld. Beschadigingen kunnen worden behandeld met zinkspray, waardoor het materiaal alsnog beschermd is tegen corrosie.

### 3.6.3. *Onderhoudsgemak*

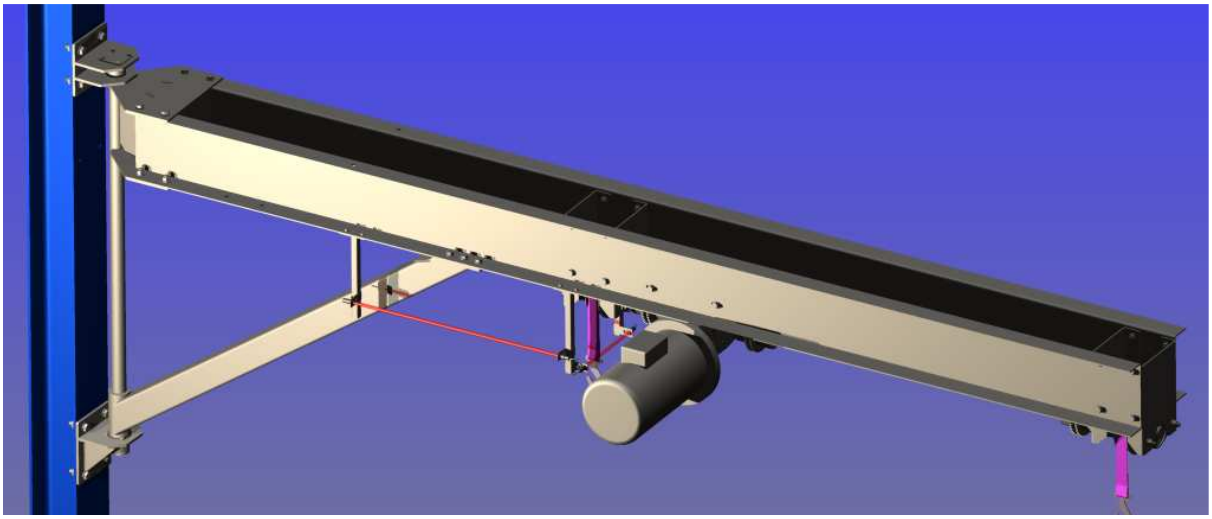
Bij het ontwerpen is rekening gehouden met toekomstig onderhoud. In figuur 3.12 tot en met figuur 3.14 staan daarvan enkele voorbeelden.



**Figuur 3.12. De haspel is te demonteren door het losmaken van de kettingkoppeling en de flenslagers.**



**Figuur 3.13. Alle lagers zijn onderhoudsvrij (volgens de fabrikanten *Schaeffler* en *Igus*).**



**Figuur 3.14. De gehele ligger is, indien nodig, los te maken van de rest van de constructie. Hiervoor worden enkele bouten losgedraaid. Voor groot onderhoud kan dit erg handig zijn.**

### 3.6.4.*Controle*

De hijsbanden zijn de kwetsbaarste onderdelen in de aanhangwagenkraan. Deze moeten regelmatig worden gecontroleerd op pluizen, sneden en beschadigde stiksels. Wanneer één van deze beschadigingen wordt geconstateerd dient de hijsband te worden vervangen.

De lagers in het ontwerp zijn flink over gedimensioneerd, bovendien zijn de toerentallen laag en de bedrijfstijd kort. Er wordt dan ook niet verwacht dat deze lagers aan snel vervanging toe zijn. Toch is het belangrijk alle lagers periodiek te controleren op beschadiging. Hierdoor wordt de kans op het vastlopen van het hijs- en klapmechaniek verkleind.

## 3.7. Omgeving

In deze paragraaf wordt beschreven welke aanpassingen er nodig zijn aan de omgeving.

### 3.7.1. *De HEA 160 balken*

Voor het monteren van de aanhangwagenkraan zijn enkele boutgaten in de HEA 160 balken nodig. De afstand tussen de rand van de HEA 160 en de boutgaten is volgens de richtlijnen van het boek 'Tabellen en formules'. Er worden acht M14-bouten gebruikt om een hijsarm vast te zetten aan een HEA 160 balk.

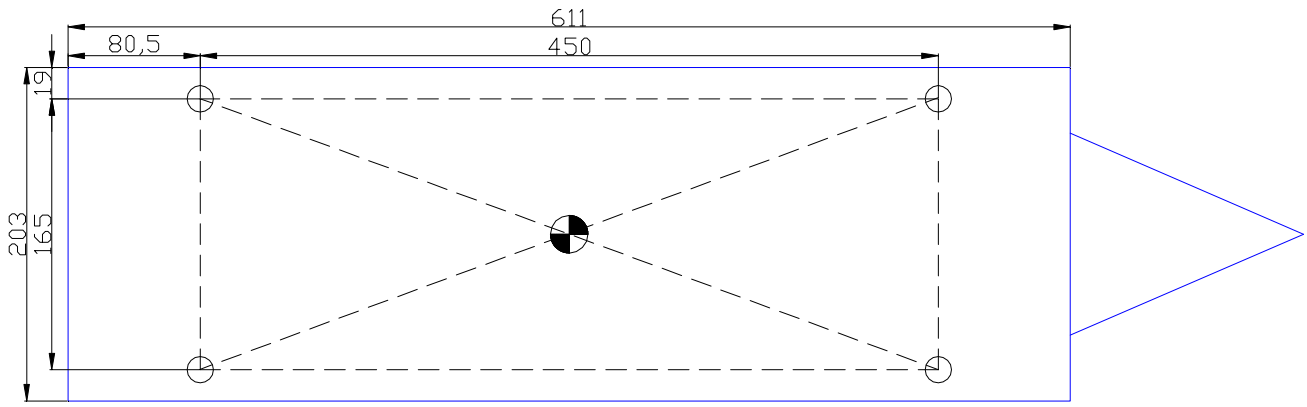
### 3.7.2. *Markering*

Voor het gebruik is het handig wanneer er een markering op de vloer wordt aangebracht. Deze markering komt recht onder de contouren van de aanhangwagen. Op deze manier kan men zien op welke plaats de aanhangwagen moet staan voor het heffen van de aanhangwagen. Dit vermindert het schommelen van de aanhangwagen tijdens het ophijsen. Daarnaast kan men zien of er geen objecten in de weg staan wanneer men de aanhangwagen weer laat zakken.

Volgens de *Arbowet* moet *Robur* vermijden dat werknemers zich lang onder de last ophouden. De markering op de vloer kan hierbij helpen.

### 3.7.3. *Hijsogen*

Op de aanhangwagen moeten enkele hijsogen worden aangebracht. Deze worden door de houten bodem aan het frame van de aanhangwagen gemonteerd. De hijsogen worden gemonteerd op het frame in de buurt van de in figuur 3.15 aangegeven locaties. Deze locaties liggen allen even ver van het zwaartepunt af. Het zwaartepunt van de schamelwagen ligt precies in het midden van de aanhangwagenbak.




**Figuur 3.15. Hijsogen op de schamelwagen (afmetingen in cm)**

### 3.7.4. *De triangel*

De triangel van de aanhangwagen wordt met een veer vastgemaakt aan de aanhangwagen zelf. Op deze manier zal de triangel niet naar beneden klappen wanneer de wagen opgehesen wordt. Met een klein touw kan men zorgen dat de voorwielen niet draaien tijdens het hijsen.

## 3.8. Elektronica

De sensoren dienen ter ondersteuning voor een veilig gebruik van de aanhangwagenkraan. In deze paragraaf worden de verschillende sensoren beschreven en gekozen. Daarna wordt met behulp van een SFC een aansturing van de motorreductoren ontworpen.

### 3.8.1. *Sensoren*

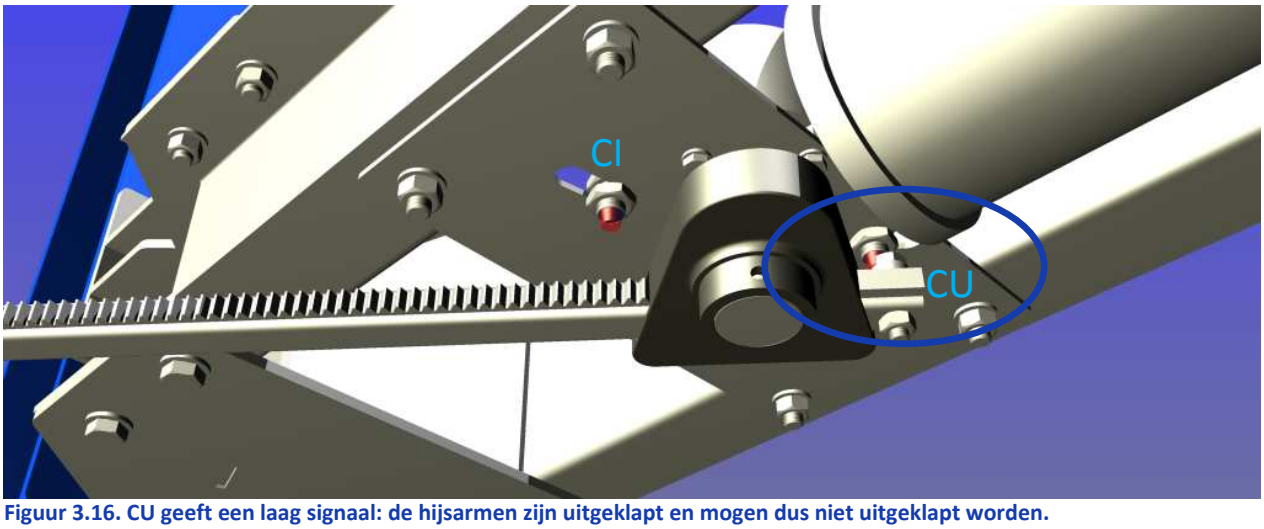
In tabel 3.10 tot en met tabel 3.13 zijn vier gevaarlijke situaties beschreven. Voor iedere situatie is een sensor gekozen die dit gevaar helpt te vermijden. De eigenschappen worden beschreven in bijlage VI.

**Tabel 3.10. Sensor om te detecteren of de hijsarmen ingeklapt zijn**

| **Hijsarmen ingeklapt (CI)** | |
|---|---|
| **Te voorkomen gevaar:** | De motorreductor van het klapmechanisme wordt beschadigd wanneer de hijsarmen worden ingeklapt terwijl deze al ingeklapt zijn. |
| **Toegepaste sensor:** | Inductieve sensor (IM12-04BPS-ZWB *SICK*) |
| **Eigenschappen:** | IP67, NC, Flush mounted, PNP, max. bereik: 6 millimeter |
| **Geeft hoog signaal:** | Wanneer de hijsarm niet ingeklapt is. |
| **Werking:** | Inductieve sensoren creëren een magnetisch veld. De sensor schakelt bij veranderingen in dit magnetische veld. Deze veranderingen worden veroorzaakt door metalen objecten die zich in het veld bevinden. |
| **Gevolg:** | De motorreductor van het klapmechanisme kan de hijsarmen alleen nog maar uitklappen (mits er ook aan enkele andere voorwaarden wordt voldaan). |

**Tabel 3.11. Sensor om te detecteren of de hijsarmen uitgeklapt zijn**

| **Hijsarmen uitgeklapt (CU)** | |
|---|---|
| **Te voorkomen gevaar:** | De motorreductor van het klapmechanisme wordt beschadigd wanneer de hijsarmen worden uitgeklapt terwijl deze al uitgeklapt zijn. |
| **Toegepaste sensor:** | Inductieve sensor (IM12-04BPS-ZWB *SICK*) |
| **Eigenschappen:** | IP67, NC, Flush mounted, PNP, max. bereik: 6 millimeter |
| **Geeft hoog signaal:** | Wanneer de hijsarm niet uitgeklapt is. |
| **Werking:** | Zie tabel 3.10 |
| **Gevolg:** | De motorreductor van het klapmechanisme kan de hijsarmen alleen nog maar inklappen (mits er ook aan enkele andere voorwaarden wordt voldaan). |



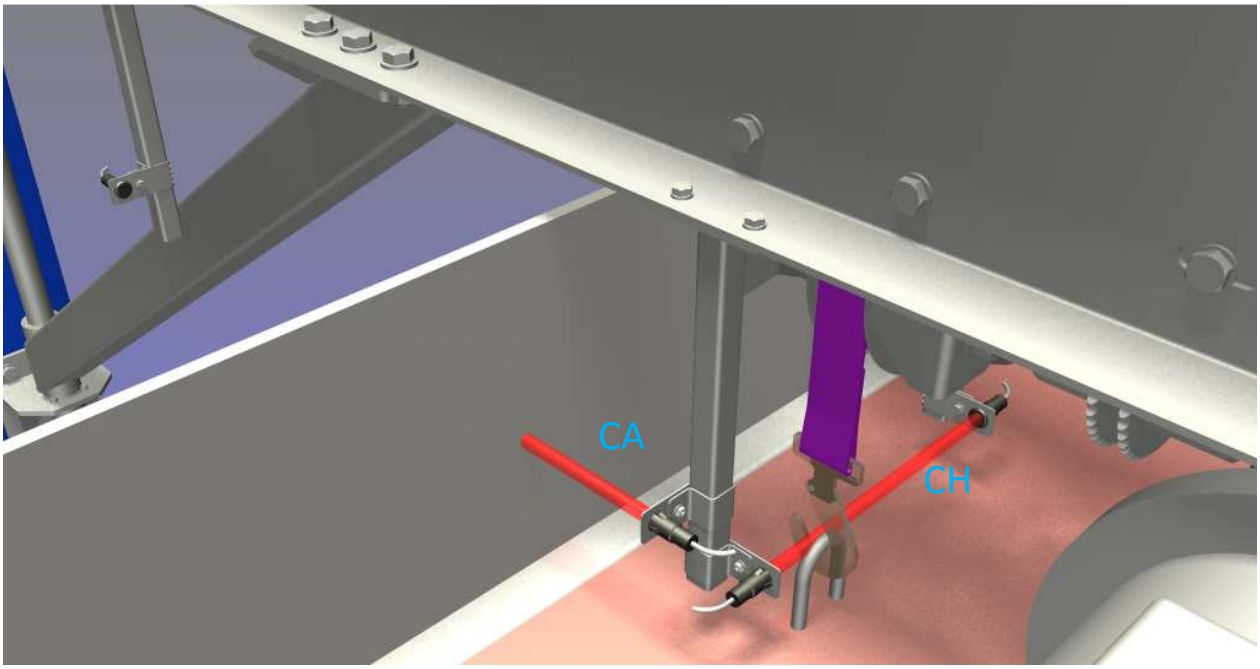

**Figuur 3.16. CU geeft een laag signaal: de hijsarmen zijn uitgeklapt en mogen dus niet uitgeklapt worden.**

**Tabel 3.12. Sensor om te detecteren of de hijshaken boven zijn**

| Hijshaken boven (CH) | |
|---|---|
| **Te voorkomen gevaar:** | De hijshaak wordt op de haspel gewikkeld, waardoor het hijsmechanisme en/of de hijskabels beschadigen. |
| **Toegepaste sensor:** | Rood licht fotocel, zender en ontvanger (SM**T** 3000C S305, SM**R** 3000C S305 *Telco* ) |
| **Eigenschappen:** | IP67, NO, PNP |
| **Geeft hoog signaal:** | Wanneer de hijshaak boven is of wanneer de hijsbanden te heftig schommelen, ofwel; wanneer de lichtstraal niet doorbroken is. |
| **Werking:** | De lichtbron zendt een lichtbundel uit. De ontvanger detecteert het licht van de lichtbron. Indien de hijsband niet meer de lichtbundel doorbreekt wordt er licht ontvangen (zie figuur 3.17). De ontvanger stuurt dan een laag signaal naar de PLC. |
| **Gevolg:** | De motorreductor voor het hijsen mag niet meer hijsen. |

**Tabel 3.13. Sensor om te detecteren of de aanhangwagen boven is**

| Aanhangwagen boven (CA) | |
|---|---|
| **Te voorkomen gevaar:** | Hijsarm kan inklappen terwijl er een aanhangwagen boven is. |
| **Toegepaste sensor:** | Rood licht fotocel, zender en ontvanger (SM**T** 3000C S305 en SM**R** 3000C S305 *Telco*) |
| **Eigenschappen:** | IP67, NC, PNP, max. bereik: 6 meter |
| **Geeft hoog signaal:** | Wanneer de rand van de aanhangwagen niet de lichtstraal doorbreekt. |
| **Werking:** | Indien de rand van de aanhangwagen de lichtbundel doorbreekt wordt er geen licht meer ontvangen (zie figuur 3.17). De ontvanger stuurt dan een laag signaal naar de PLC. |
| **Gevolg:** | De motorreductor van het inklapmechanisme staat uit, ondanks een medewerker op de knop voor inklappen drukt. |




**Figuur 3.17. CA en CH geven een laag signaal: de hijsarmen mogen niet inklappen en de hijsmotor mag niet hijsen.**

### 3.8.2. *Aansturing*

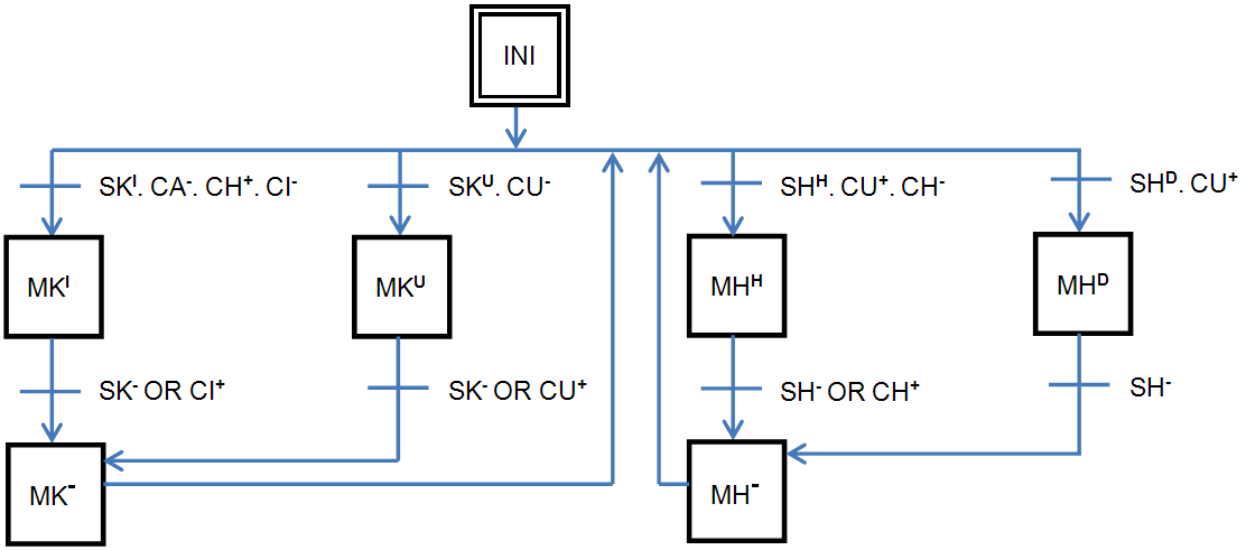
De aanhangwagenkraan wordt bestuurd door een werknemer. De handelingen worden gecontroleerd door een PLC met sensoren.

Om een bepaalde motorreductor een bepaalde richting op te laten draaien moeten er aan voorwaardes worden voldaan. De voorwaardes zijn de signalen van de sensoren of drukknoppen.

Met de programmeertaal SFC (*Sequential Function Chart;* ook wel bekend als 'GRAFCET') kan men de commando's en voorwaarden duidelijk weergeven. De codes voor de voorwaarden en commando's zijn te vinden in tabel 3.14.

**Tabel 3.14. Codes invoer en uitvoer**

| | |
|---|---|
| **Voorwaarden knoppenpaneel** | |
| SH | Schakelaar Hijsen (H hijsen; D dalen; - uitgeschakeld) |
| SK | Schakelaar Klappen (I inklappen; U uitklappen; - uitgeschakeld) |
| **Voorwaarden sensoren** | |
| CU | Controle Uitgeklapt |
| CI | Controle Ingeklapt |
| CH | Controle Hijshaken hoog |
| CA | Controle Aanhangwagen hoog |
| **Commando's motorreductoren** | |
| MH | Motor Hijsen (H hijsen; D dalen; - uitgeschakeld) |
| MK | Motor Klappen (I inklappen; U uitklappen; - uitgeschakeld) |



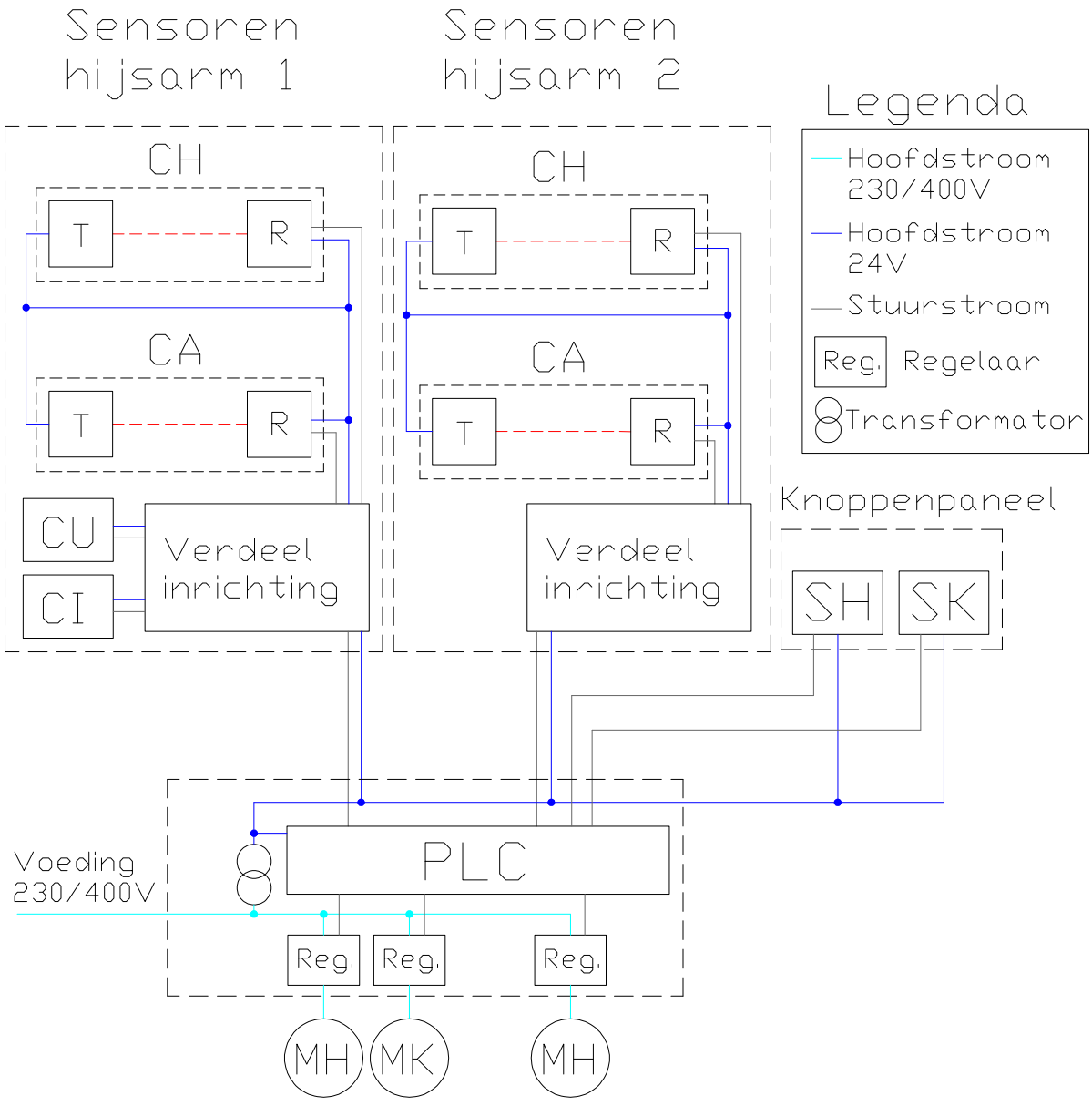

**Figuur 3.18. SFC van de aanhangwagenkraan**

De SFC voor de aanhangwagenkraan (zie figuur 3.18) begint met de eerste stap (initial step). Dit is het begin van iedere SFC. Hierna heeft de medewerker de keuze uit vier commando's, mits aan de voorwaarden wordt voldaan: inklappen, uitklappen, hijsen en dalen. Om bijvoorbeeld de hijsarmen in te klappen (links in figuur 3.18) moeten er aan vier voorwaardes worden voldaan:

- Een medewerker moet de knop voor het inklappen hebben ingedrukt
- De hijsarmen mogen niet al ingeklapt zijn
- De aanhangwagen mag niet hoog zijn
- De hijsbanden moeten wel hoog zijn

### 3.8.3. *Elektrisch schema*

De sensoren, de motorreductoren en het knoppenpaneel worden met snoeren aan de PLC gekoppeld. Om de lengte van de snoeren te beperken worden de snoeren van de sensoren samengebracht in een verbindingskast. Vanuit deze verbindingskast loopt een dikker draad naar de PLC en de voeding. In figuur 3.19 is het stroomkringschema van de aanhangwagenkraan weergegeven.




**Figuur 3.19. Stroomkringschema**

In een regelaar bevinden zich twee relais (voor beide draairichtingen) en een motorbeveiliging. Een relais is een elektrische schakelaar die met de stuurstroom, de hoofdstroom op de motorreductor aan of uit schakelt.

De fotocel wordt onderverdeelt in een zender (T) en ontvanger (R). De ontvanger geeft een stuurstroom af aan de PLC.

## 3.9. Productie, assemblage en montage

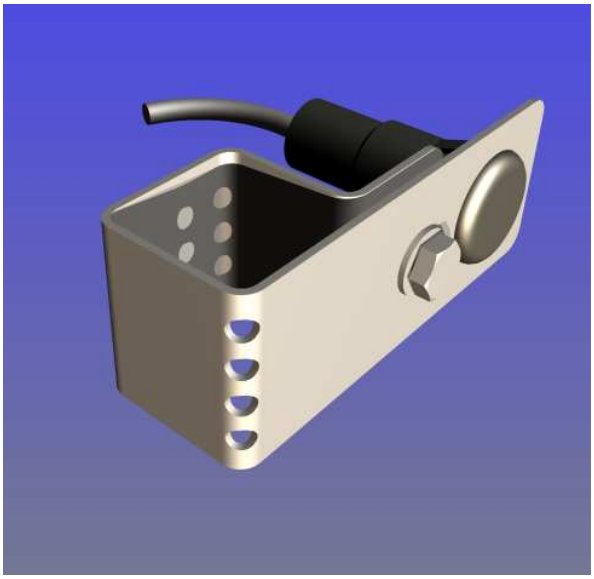
Deze paragraaf laat zien welke ontwerpbeslissingen er onder andere zijn gemaakt voor een goed te produceren product. Niet het gehele fabricage- en assemblageproces wordt tot in detail beschreven. Bijlage VII is ter ondersteuning van deze paragraaf. In deze bijlagen staan werktekeningen van enkele onderdelen.

### 3.9.1. *Fabricage*

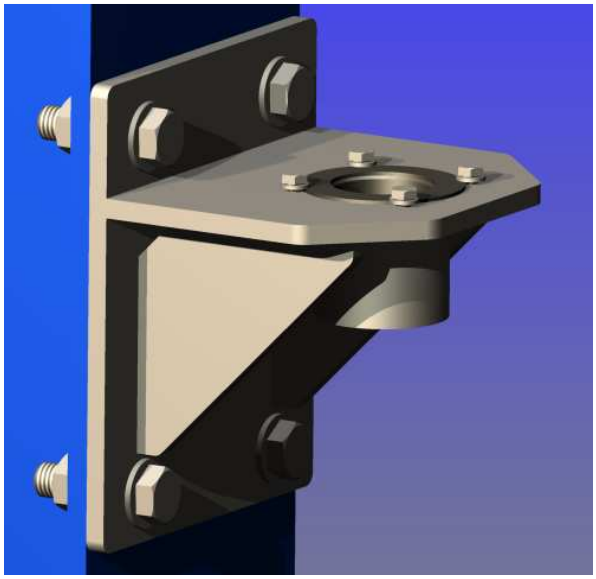
De onderdelen van de aanhangwagen zijn voor het grootste deel gemaakt uit S235 (alleen de assen van E295). Dit is relatief goedkoop en goed verspaan- en lasbaar. Sommige onderdelen kunnen bij *Robur* worden gefabriceerd. Hiervoor worden de profielen of het plaatstaal bij een bedrijf als *MCB* ingekocht. Deze profielen of platen kunnen worden bewerkt met bijvoorbeeld de ponsnibbelaar en zetbank van *Robur.* Afhankelijk van de werkplaatsbezetting zal worden gekozen voor eigen fabricage of fabricage door derden.

Ook de assen kunnen bij *Robur* worden gefabriceerd met de draaibank. In bijlage VII, tekening A staat een voorbeeld van een werktekening van een as. Bij assen is het belangrijk om aan te geven welke passing er moet worden aangebracht.

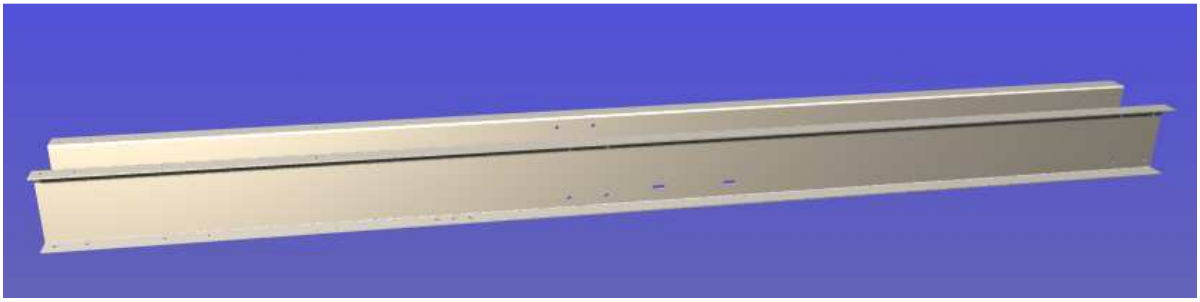
In het ontwerp is rekening gehouden met de fabricage, in figuur 3.20 tot en met figuur 3.22 staan enkele voorbeelden van de manier waarop.



**Figuur 3.20. De laatste buiging kan niet met een zetbank. Door gaten op de buiglijn aan te brengen gaat het buigen met de hand makkelijker.**



**Figuur 3.21. Scherpe hoeken in plaatmateriaal wordt zo veel mogelijk vermeden; lasersnijden gaat zo sneller.**



**Figuur 3.22. De liggers (element A) zijn elkaars gespiegelde, wat boorgaten aftekenen makkelijker maakt.**

### 3.9.2. *Assemblage*

Het assemblageproces zal plaatsvinden bij *Robur*. *Robur* heeft een voorraad inkoopdelen welke zo veel mogelijk zijn gebruikt in de aanhangwagenkraan. Onder andere de fotocellen in figuur 3.24 liggen al in het magazijn bij *Robur.*

**Bouten en moeren**

De aanhangwagenkraan wordt vooral geassembleerd met bouten en moeren. Hierdoor zijn de kwetsbare onderdelen gemakkelijk te vervangen. In het ontwerp is gestreefd naar zo min mogelijk verschillende bouten (en moeren). De assemblage gaat sneller wanneer een medewerker niet telkens het type bout moet opzoeken op de tekening.

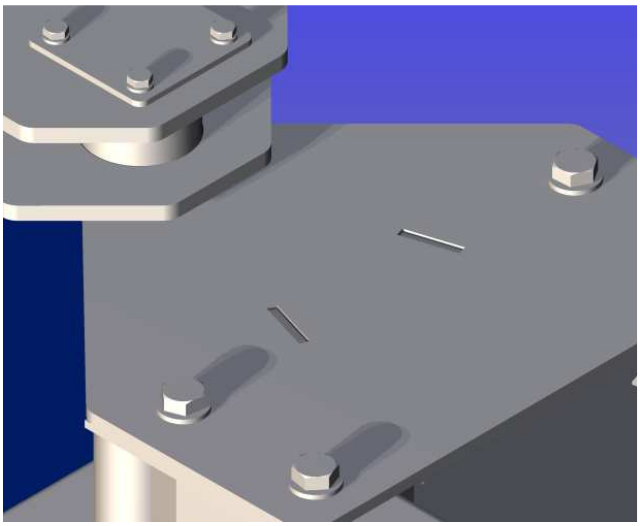
Enkele bewegende onderdelen zijn opgehangen aan bouten die geborgd zijn met een borgmoer. Voor onderdelen die niet bewegen geldt dat de moer op de plaats blijft door de wrijvingskracht tussen het onderdeel, de sluitring en de moer. Overal zijn sluitringen toegepast om beschadiging van de zinklaag te voorkomen.

**Lassen**

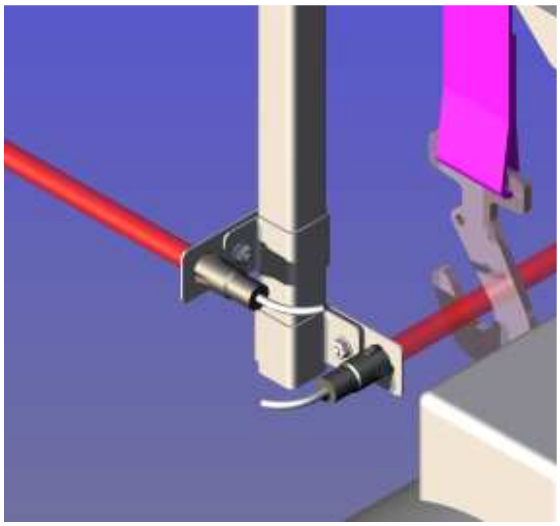
Het grootste deel van de onderdelen in de aanhangwagenkraan is geassembleerd met bouten en moeren. Enkele andere onderdelen worden gelast. Hiervoor wordt een werktekening van een lassamenstelling gemaakt. Een voorbeeld van een dergelijke tekening is te vinden in bijlage VII, tekening B. In de tekening wordt door middel van symbolen aan de lasser duidelijk gemaakt welk soort las er moet komen. In de meeste tekeningen die *Robur*

**'Design for assembly'**

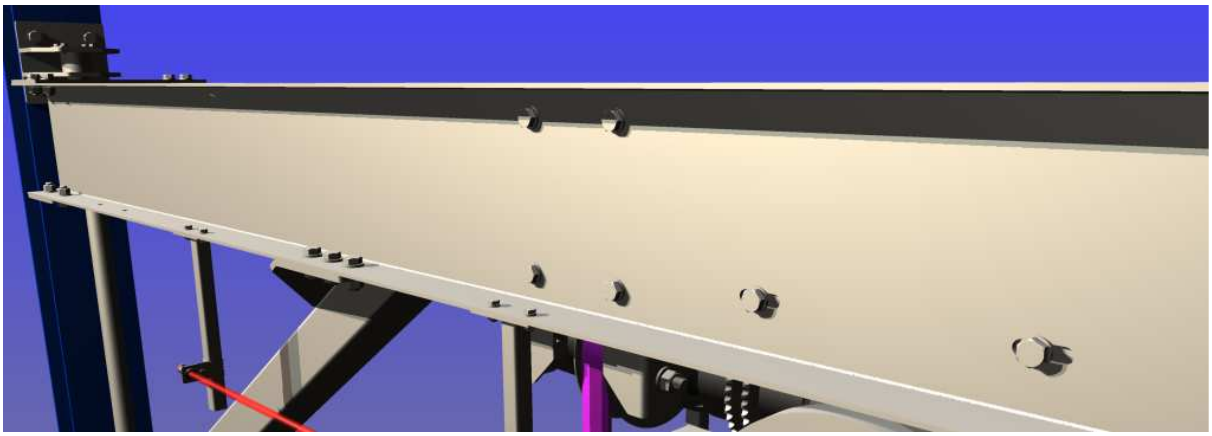
Om het assemblageproces sneller en nauwkeuriger te laten verlopen zijn er enkele ontwerpaanpassingen gedaan. In figuur 3.23 tot en met figuur 3.25 zijn enkele van deze aanpassingen te zien.



**Figuur 3.23. Positioneernokken zorgen voor snel en nauwkeurig laswerk.**



**Figuur 3.24. De sensoren zijn vast te klikken in een gat, daarnaast vangen ze grote uitlijnfouten op.**



**Figuur 3.25. Genoeg ruimte om bouten aan te draaien en met sleufgaten kunnen de assen gemakkelijk uitgelijnd worden.**

### 3.9.3.*Montage*

Tijdens het ontwerpen is nagedacht over de montage op hoogte. Om de hijsarmen te monteren wordt eerst het onderste montagedeel op de HEA 160 balk gemonteerd. Daarna worden de gaten geboord van het bovenste montagedeel en de onderdelen van het klapmechanisme. Met een grote vorkheftruck kan nu de hijsarm in het onderste montagedeel worden geplaatst. Een medewerker kan vervolgens met een ladder of hoogwerker naar boven om het bovenste montagedeel te monteren. Deze handelingen worden nogmaals uitgevoerd voor de tweede hijsarm.

Voor het optakelen van de hijsarmen kan de bovenloopkraan helaas niet worden gebruikt. De afstand tussen de ligger van de bovenloopkraan en de hijsarm is enkele centimeters. De hijshaak van de bovenloopkraan kan niet hijsen op deze hoogte.

Wanneer beide hijsarmen hangen, kan het inklapmechanisme en de verbindingsstaaf worden gemonteerd. Ten slotte wordt de constructie aangesloten aan de PLC en het knoppenpaneel en wordt de aanhangwagenkraan getest.

## 3.10. Kosten

In deze paragraaf staat de kostencalculatie, informatie over de kostenverdeling en de rendabiliteit.

### 3.10.1. *Kostencalculatie*

In tabel 3.15 staat de kostencalculatie van de aanhangwagenkraan. De kosten zijn opgedeeld in materiaalkosten, arbeidskosten en nabewerkingskosten. Het nabewerken (elektrolytisch verzinken) kost ongeveer €1,10 per kilogram materiaal.

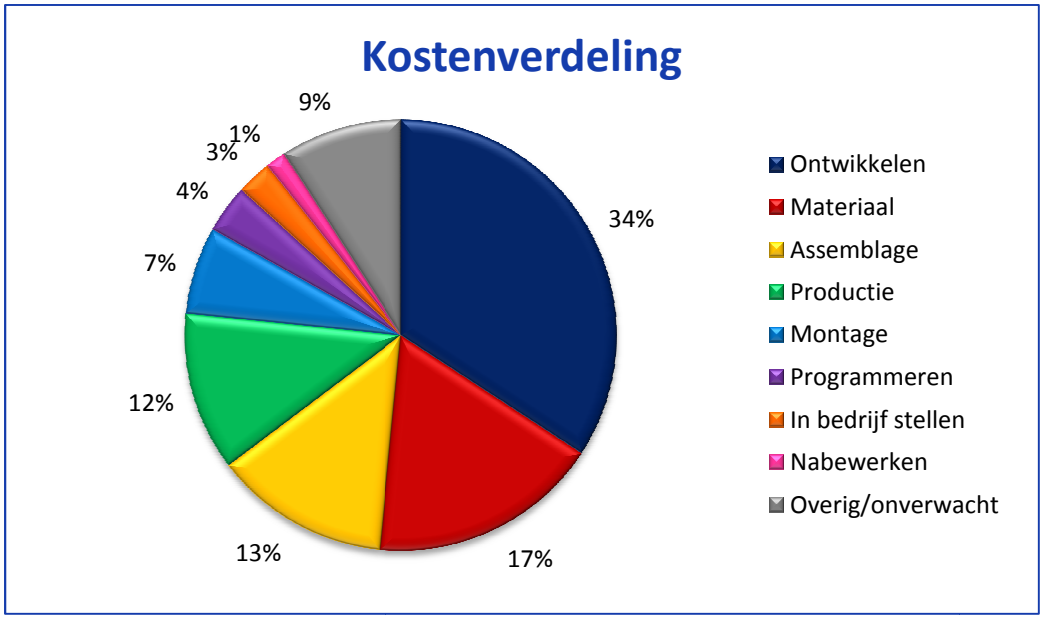
| Onderdeel | Aantal stuks | kosten/stuk | Materiaal | Uur | Kosten/uur | Loonkosten | Massa (Kg) | Nabewerking | kosten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Profielen/plaatwerk** | | | | | | | | | |
| Element A | 2 | € 200 | € 400 | 4 | € 65 | € 520 | 71 | € 156 | € 1.076 |
| Element B | 2 | € 55 | € 110 | 1 | € 65 | € 130 | 16 | € 35 | € 275 |
| Element C | 2 | € 30 | € 60 | 2 | € 65 | € 260 | 20 | € 44 | € 364 |
| Haspelflens | 8 | € 5 | € 40 | 0,5 | € 65 | € 260 | 0,5 | € 4 | € 304 |
| Haspelas | 4 | € 5 | € 20 | 1,5 | € 65 | € 390 | 2,5 | € 11 | € 421 |
| Transmissieas | 2 | € 10 | € 20 | 0,5 | € 65 | € 65 | 8 | € 18 | € 103 |
| Verbindingsstaaf | 1 | € 20 | € 20 | 0,5 | € 65 | € 33 | 10 | € 11 | € 64 |
| Montagedeel boven | 2 | € 5 | € 10 | 2 | € 65 | € 260 | 4 | € 9 | € 279 |
| Montagedeel onder | 2 | € 5 | € 10 | 2 | € 65 | € 260 | 4 | € 9 | € 279 |
| Sensor houder | 6 | € 3 | € 18 | 0,25 | € 65 | € 98 | 0,5 | € 3 | € 119 |
| **Elektronica** | | | | | | | | | |
| Fotocellen | 4 | € 20 | € 80 | | | | | | € 80 |
| Inductieve sensoren | 2 | € 20 | € 40 | | | | | | € 40 |
| Bedrading | 1 | € 50 | € 50 | | | | | | € 50 |
| PLC | 1 | € 300 | € 300 | | | | | | € 300 |
| Knoppenpaneel | 1 | € 30 | € 30 | | | | | | € 30 |
| Verdeel inrichting | 2 | € 10 | € 20 | | | | | | € 20 |
| Verzamelkast | 1 | € 50 | € 50 | | | | | | € 50 |
| **Aandrijving** | | | | | | | | | |
| Flensglijlagers | 4 | € 5 | € 20 | | | | | | € 20 |
| Ringglijlagers | 2 | € 5 | € 10 | | | | | | € 10 |
| Flenslagers | 8 | € 40 | € 320 | | | | | | € 320 |
| Kettingkoppeling | 6 | € 30 | € 180 | 0,25 | € 65 | € 98 | | | € 278 |
| MR hijsen | 2 | € 600 | € 1.200 | | | | | | € 1.200 |
| MR klappen | 1 | € 250 | € 250 | | | | | | € 250 |
| Tandheugel met huis | 1 | € 50 | € 50 | | | | | | € 50 |
| **Hijsbanden** | | | | | | | | | |
| Hijsbanden | 4 | € 20 | € 80 | | | | | | € 80 |
| Karabijnhaken | 4 | € 15 | € 60 | | | | | | € 60 |
| **Arbeid** | | | | | | | | | |
| Ontwikkeling | | | | 170 | € 40 | € 6.800 | | | € 6.800 |
| Assemblage | | | | 40 | € 65 | € 2.600 | | | € 2.600 |
| Montage | | | | 20 | € 65 | € 1.300 | | | € 1.300 |
| Programmeren | | | | 16 | € 45 | € 720 | | | € 720 |
| In bedrijf stellen | | | | 8 | € 65 | € 520 | | | € 520 |
| **Overig/onverwacht** | 10% | | € 345 | | | € 1.431 | | € 30 | € 1.806 |
| **Totaal** | | | € 3.793 | | | € 15.744 | | € 330 | **€ 19.867** |

**Tabel 3.15. Kostencalculatie**

De prijzen voor de onderdelen zijn geschat aan de hand van bruto prijzen of vergelijkbare producten en projecten. De ontwikkelingskosten zijn gebaseerd op een vergelijkbaar project van *Robur*.

### 3.10.2. *Kostenverdeling*

Bij een machine is het interessant om te zien hoe de kostenverdeling is opgebouwd. In figuur 3.26 staat de kostenverdeling voor de aanhangwagenkraan. Opvallend is dat een groot deel van de kosten vallen onder 'ontwikkelingskosten'. Dit is kenmerkend voor prototypes en enkelstuks fabricage.




**Figuur 3.26. Kostenverdeling**

### 3.10.3. *Rendabiliteit*

Bij het bepalen of dit project rendabel is wordt gekeken naar een aantal factoren. Voor ieder van deze factoren is telkens een ruwe schatting gemaakt voor de kosten of opbrengsten. Deze waarden zijn terug te vinden in tabel 3.17.

**- Afschrijving aanhangwagen**

De aanhangwagen kostte ongeveer 4.500 euro. De levensduur van een aanhangwagen is 10 jaar. Wanneer de aanhangwagen regelmatig buiten wordt gestald, zal de levensduur halveren.

**- Onderhoud aanhangwagenkraan**

De onderhoudskosten van de aanhangwagenkraan worden geschat op 600 euro per jaar. Dit is ongeveer 6 uur onderhoudswerk en voor 200 euro aan vervangende onderdelen.

**- Loonkosten voor het pakken, wegzetten en verplaatsen van de aanhangwagen**

Een medewerker moet de aanhangwagen pakken, wegzetten en eventueel verplaatsen. In tabel 3.16 staan de kosten hiervoor per jaar.

**Tabel 3.16. Loonkosten voor het gebruik van de aanhangwagen per jaar**

| | Gebruik wagen | Verplaatsen wagen | Tijdsduur | Loonkosten | Kosten |
|---|---|---|---|---|---|
| **Zonder kraan** | 10 (x 2) | 5 | 8 | € 1,-/min | €200,- |
| **Met kraan** | 10 (x 2) | 0 | 5 | € 1,-/min | €100,- |

**- Opbrengsten vrije ruimte**

De ruimte die met het stallen van de aanhangwagen wordt gecreëerd kan worden gebruikt voor nieuwe of grotere projecten. Hiermee kan extra omzet worden gedraaid. Deze winsten zijn toe te schrijven aan de aanhangwagenkraan.

**- Blokkeren brandgang**

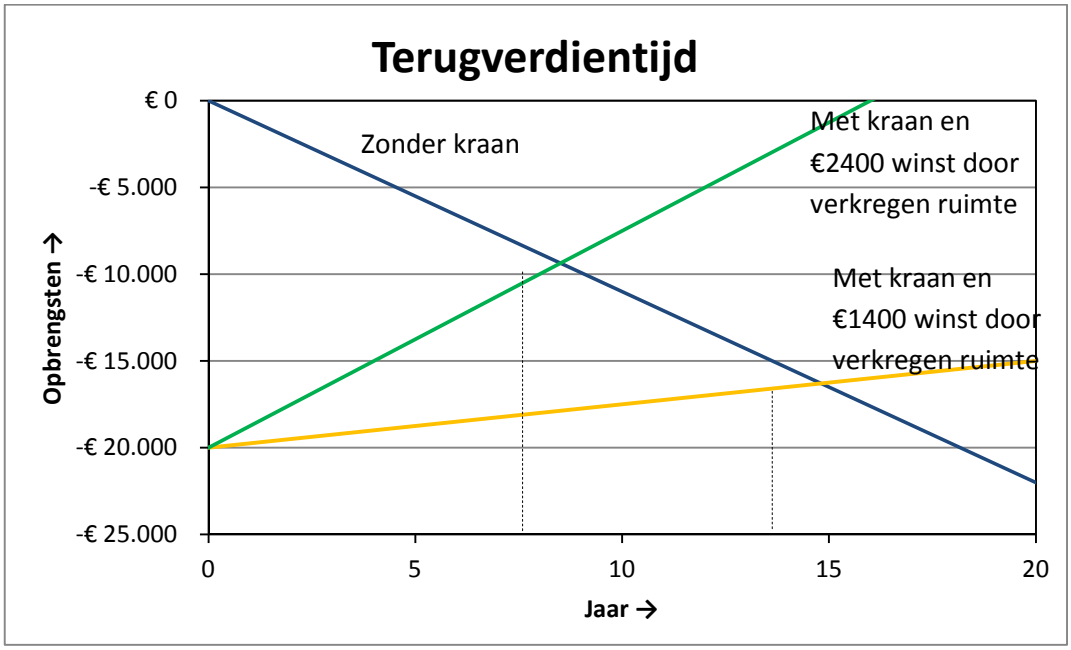
Het is niet mogelijk om te zeggen welke kosten er voor het blokkeren van een brandgang kunnen worden gerekend. Deze kosten zijn daarom niet meegenomen in de calculatie.

**Tabel 3.17. Opbrengsten per jaar, met en zonder de aanhangwagenkraan**

| Kostenpost | Zonder kraan | Met kraan |
|---|---|---|
| *Afschrijving aanhangwagen* | -900 | -450 |
| *Onderhoud & controle kraan* | 0 | -600 |
| *Loonkosten gebruik wagen* | -200 | -100 |
| *Opbrengsten extra ruimte* | 0 | 2000 |
| ***Opbrengsten per jaar*** | **-1.100** | **850** |

Deze kosten kunnen in een grafiek worden weergegeven (zie figuur 3.27). Op de kruising van de lijnen kan de terugverdientijd worden afgelezen. Wanneer de terugverdientijd langer is dan de economische levensduur van de aanhangwagenkraan, is de kraan niet rendabel. De economische levensduur van de 'gemiddelde' machine ligt tussen de 8 en 15 jaar.[10]

De terugverdientijd is grotendeels afhankelijk van de opbrengsten die met de verkregen ruimte kan worden verdient. Wanneer *Robur* door het extra werkplaatsoppervlak 2400 euro per jaar meer winst maakt, is de terugverdientijd ongeveer 8 jaar. Wanneer er 1400 euro per jaar extra wordt verdient, is de terugverdientijd ongeveer 15 jaar.




**Figuur 3.27. Opbrengsten tegenover het aantal jaar**

[10] Bron: Steenwinkel, M. *Boekhouden voor Dummies*

# 4. Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk komen de conclusies en aanbevelingen.

## 4.1. Conclusie

Op verschillende manieren kan men het parkeerprobleem uit dit verslag oplossen. Uit het oriënterend onderzoek bleek al snel dat het ophijsen van de schamelwagen een voor de hand liggende keuze is. Met de multi criteria analyse werd bevestigd dat een ‘simpele’ hijsconstructie het beste voldoet aan de gestelde eisen.

De hijsconstructie is uitgewerkt tot een ontwerp met twee inklapbare hijsarmen. Op een hijsarm bevindt zich een motorreductor welke twee hijsbanden kan op- en afwikkelen. Sensoren op de hijsarmen controleren de werknemer bij het bedienen van de aanhangwagenkraan. Gegeven commando’s die tot gevaarlijke situaties leiden worden door een PLC genegeerd.

De eisen betreffende de veiligheid worden behaald mits de werknemers verantwoordelijk met de constructie omgaan. Hierbij horen ook de periodieke controles en het onderhoud van de hijsbanden, lagers en tandheugel.

De werknemer heeft bijna drie minuten nodig om de aanhangwagen te stallen. Het gebruiksklaar maken na het stallen kost voor een werknemer iets meer dan twee minuten. Daarnaast kan *Robur* de stellingen, overheaddeur en de bovenloopkraan aan de westkant van het pand nog steeds gebruiken. Hiermee kan worden gesteld dat er goed aan de capaciteits- en functionaliteitseisen wordt voldaan.

De aanhangwagenkraan kost ongeveer €20.000,- Afhankelijk van de winst die *Robur* denkt te gaan maken met de vrijgekomen werkplaatsoppervlakte, kan worden bepaald of de aanhangwagenkraan rendabel is. Vanaf €2400,- extra winst per jaar kan de aanhangwagenkraan als ‘rendabel’ worden gezien.

## 4.2. Aanbevelingen

Bij dit hijswerktuig is goed onderhoud en regelmatige controle erg belangrijk. Vooral de hijsbanden dienen zeer regelmatig te worden gecontroleerd op beschadigingen. Het wordt aanbevolen een rooster te maken voor de periodieke inspectie van de kraan.

Daarnaast is het belangrijk dat het stallen en laten zakken van de aanhangwagen door ervaren personeel wordt uitgevoerd. De bediener moet tijdens het koppelen en bedienen er voor zorgen dat de maximum hijslast niet wordt overschreden en dat de karabijnhaken goed zijn bevestigd aan de hijsogen. Tenminste één werknemer zal de bediening en gevaren moeten leren kennen. Deze scriptie kan daarbij een hulpmiddel zijn.

Met het in bedrijf stellen van de aanhangwagenkraan moet men de kraan goed testen. Door de beproevingslast op te bouwen tot 110% van de toegestane werklast kan men de kraan testen. Tijdens en na de tests moet men de constructie controleren op plastische vervormingen.

# Literatuurlijst

**Literatuur**


1. Grit, R. (2008). *Projectmanagement* (6e druk). Groningen: Wolters-Noordhoff.
2. Hoogland, W., Dik, R. (2006). *Rapport over rapporteren (5e druk).* Groningen: Wolters-Noordhoff.
3. Elsto aandrijftechniek, Bonfiglioli. *Reductoren.* Voorhout: Elsto.
4. Machinerichtlijn 2006/42/EG, (Bijlage 1, Hoofdstuk 4: *Aanvullende eisen voor hef- en hijswerktuigen*)
5. Steenbergen, M. (2007) *Boekhouden voor Dummies*. Amsterdam: Pearson Education
6. Stolk, J., Ruijter, T.J., Kok, W. (1998). *Machineonderdelen* (24e druk). Houten: Educatieve Partners Nederland
7. Muhs, D., Wittel, H., Becker, M., Jannasch, D., Voßiek, J. (2003). *Roloff/Matek Machineonderdelen tabellenboek* (4e druk). Den Haag: Sdu uitgevers
8. Cool, J. C. (2006). *Werktuigkundige systemen* (3e druk). Delft: VSSD.
9. Erdurcan, F. (2012). *Eindige Elementen Methode*
10. Van den Boom, L.C., Jonkeren, J.H. (1995). *Tabellen en formules.* Rijswijk: Nijgh & Van Ditmar.
11. Hibbeler, R.C. (2006). *Sterkteleer* Amsterdam: Pearson Education.
12. Kaas, E.A. (Het berekenen van asdiameters). *De constructeur*, nr. 8, augustus 1985, pag. 24-28


**Internet**


| | | |
|---|---|---|
| 1. | *http://www.hulco.nl/* | Informatie over de schamelwagen. |
| 2. | *http://www.koster-it.nl/* | Informatie over hijs- en sjorbanden. |
| 9. | *http://www.schaeffler.nl/* | Informatie over lagers en andere aandrijfcomponenten. |
| 3. | *http://www.euronorm.net/* | Informatie over verschillende (Europese) richtlijnen. |
| 4. | *http://designinfosystem.nl/* | Informatie over veiligheid, materiaalkeuze en genormaliseerde onderdelen. |
| 5. | *http:/maxius.nl/* | Informatie over de arbo-voorschriften. |
| 6. | *http://www.strand7.com/* | Software voor het berekenen van constructies met eindige elementen. |
| 7. | *http://industrial.omron.nl/* | Informatie over sensoren en automatisering. |
| 8. | *http://www.plcs.net/* | Informatie over PLC's. |
| 10. | *http://www.igus.nl/* | Informatie over glijlagers. |



# Bijlagen

**Johan Vermeer**
**09020799**
**Haagse Hogeschool, TIS Delft**
**HBO Werktuigbouwkunde**

**De Lier**
**7 juni 2013**

# Bijlagen

I. BEREKENING: HIJSBANDEN ..... 2
II. BEREKENING: HIJS-MOTORREDUCTOR ..... 4
III. BEREKENING: AANDRIJF- EN TRANSMISSIEASSEN ..... 11
IV. BEREKENING: FRAME ..... 18
V. BEREKENING: KLAP-MECHANISME ..... 30
VI. ELEKTRISCHE COMPONENTEN ..... 35
VII. WERKTEKENINGEN ..... 38
VIII. COMPETENTIESET ..... 39

# I. Berekening: hijsbanden

In deze bijlage wordt berekend welke kracht er op de hijsbanden komt te staan. Wanneer deze kracht bekend is kan de juiste hijsband worden gekozen. Bij deze berekening wordt de situatie eerst vereenvoudigd door de aanhangwagen aan één hijsband op te hijsen. In Tabel I.1 staan de symbolen die gebruikt zijn bij de berekeningen in deze bijlage.

**Tabel I.1. Gebruikte symbolen in bijlage I**

| Symbool | Betekenis | Waarde | Eenheid |
|---|---|---|---|
| $D_0$ | Begindiameter haspel | 0,065 | m |
| $F_{hb}$ | Kracht in de hijsband | - | N |
| $F_{acc}$ | Acceleratiekracht | - | N |
| $F_{lager}$ | Lagerkracht | - | N |
| $F_{wr}$ | Wrijvingskracht | - | N |
| $F_{zw}$ | Zwaartekracht | - | N |
| $g$ | Zwaartekrachtversnelling | 9,81 | $m/s^2$ |
| $m_{last}$ | Massa van de last | 975 | kg |
| $T_{acc}$ | Acceleratiekoppel | - | Nm |
| $T_{last.0}$ | Minimum lastkoppel | - | Nm |
| $T_{nom}$ | Nominaal koppel | 658 | Nm |

De kracht op de hijsbanden is te berekenen met vergelijking I.1. Hierbij wordt de luchtweerstand verwaarloosd.

$$F_{hb} = F_{zw} + F_{acc} \quad \text{I.1}$$

**De zwaartekracht**

De zwaartekracht wordt berekend met vergelijking I.2, waarbij $m_{last}$ de som van de massa van de aanhangwagen en hijsbanden bedraagt.

$$F_{zw} = m_{last} \cdot g \quad \text{I.2}$$

**De acceleratiekracht**

Wanneer de aanhangwagen vanuit stilstand naar de maximale hijssnelheid wordt versneld, neemt de kracht in de hijsband tijdelijk toe. Deze kracht is te berekenen met vergelijking I.3.

$$F_{acc} = \frac{2 \cdot T_{acc}}{D_0} \quad \text{I.3}$$

Waarbij;

$$T_{acc} = T_{nom} - T_{last.0} \quad \text{I.4}$$

Het minimum lastkoppel wordt in dit geval berekend met de begindiameter van de haspel. De aanhangwagen zal het snelst accelereren wanneer deze vanaf de grond wordt opgehesen.

$$T_{last.0} = F_{zw} \cdot \frac{D_0}{2} \quad \text{I.5}$$

De acceleratiekracht kan dan worden berekenden met vergelijking I.6.

$$F_{acc} = \frac{2 \cdot \left(T_{nom} - F_{zw} \cdot \frac{D_0}{2}\right)}{D_0}$$

$$F_{acc} = \frac{2 \cdot T_{nom} - m_{last} \cdot g \cdot D_0}{D_0}$$

$$F_{acc} = \frac{2 \cdot T_{nom}}{D_0} - m_{last} \cdot g \qquad \text{I.6}$$

**De kracht in de hijsband**

Wanneer de vergelijkingen I.2 en I.6 worden ingevuld in vergelijking I.1 ontstaat vergelijking I.7. Hiermee wordt de kracht in de hijsband berekend. Voor het nominale koppel wordt 658 Nm ingevuld. Deze waarde wordt bepaald in bijlage II.

$$F_{hb} = m_{last} \cdot g + \frac{2 \cdot T_{nom}}{D_0} - m_{last} \cdot g$$

$$F_{hb} = \frac{2 \cdot T_{nom}}{D_0} \qquad \text{I.7}$$

$$F_{hb} = \frac{2 \cdot 658}{0{,}065} = 20246\ N$$

De aanhangwagen komt aan vier hijsbanden te hangen. De kracht op één hijsband wordt dan:

$$\frac{20246}{4} = 5062\ N$$

Met deze kracht wordt een geschikte hijsband gekozen.

# II. Berekening: hijs-motorreductor

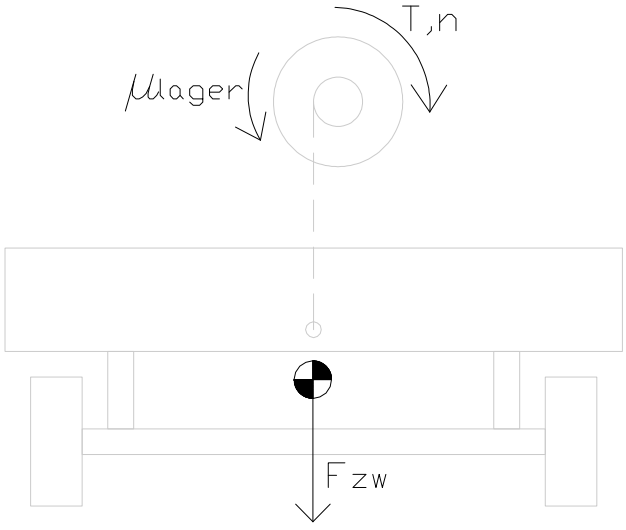
In deze bijlage wordt de motorreductor van het hijsmechanisme gekozen. Een motorreductor is een vaste combinatie van een elektromotor met een reductor. Wanneer het benodigde koppel en toerental bekend zijn kan men dus al een motorreductor kiezen. In Tabel II.1 staan de symbolen die gebruikt zijn in de berekeningen in deze bijlage.

**Tabel II.1. Gebruikte symbolen in bijlage II**

| Symbool | Betekenis | Waarde | Eenheid |
|---|---|---|---|
| $d$ | Dikte hijsband | 0,0022 | m |
| $D_0$ | Begindiameter haspel | 0,065 | m |
| $D_1$ | Einddiameter haspel | - | m |
| $D_{as}$ | Asdiameter | 0,035 | m |
| $F_{acc}$ | Acceleratiekracht | - | N |
| $F_{wr}$ | Wrijvingskracht | - | N |
| $F_{zw}$ | Zwaartekracht | - | N |
| $g$ | Zwaartekrachtversnelling | 9,81 | $m/s^2$ |
| $H$ | Hoogte | 5,00 | m |
| $i$ | Constante | - | - |
| $J_L$ | Massatraagheidsmoment van de last | | |
| $J_m$ | Massatraagheidsmoment van de motor | | |
| $K$ | Factor voor het belastingstype | - | - |
| $m_{last}$ | Massa van de last | 975 | kg |
| $n$ | Toerental | - | omw/min |
| $t$ | Tijdsduur | - | s |
| $t_{acc}$ | Acceleratietijd | - | s |
| $T_{acc}$ | Acceleratiekoppel | - | Nm |
| $T_{last}$ | Lastkoppel | - | Nm |
| $T_{last.min}$ | Minimum lastkoppel | - | Nm |
| $T_{nom}$ | Nominaal koppel | - | Nm |
| $v$ | Snelheid | - | m/s |
| $w$ | Aantal wikkelingen | - | - |
| $\mu_{lager}$ | Wrijvingcoëfficiënt lager | 0,0015 | - |

## *Het benodigde koppel*

De lastkracht bestaat uit drie delen: de lagerwrijving, de zwaartekracht en de luchtweerstand. De luchtweerstand is te verwaarlozen door de lage snelheid. De situatie wordt vereenvoudigd door de aanhangwagen aan één hijsband op te hijsen. De situatie ziet er dan uit zoals in Figuur II.1.




**Figuur II.1. Wrijvingskracht en zwaartekracht**

Het benodigde koppel is te berekenen met vergelijking II.1.

$$T_{last} = F_{zw} \cdot \frac{D_1}{2} + F_{wr} \cdot \frac{D_{as}}{2} \qquad \text{II.1}$$

**De zwaartekracht**

De zwaartekracht kan worden berekend met vergelijking II.2, waarbij $m_{last}$ de som van de massa van de aanhangwagen en hijsbanden bedraagt.

$$F_{zw} = m_{last} \cdot g \qquad \text{II.2}$$

**De wrijvingskracht**

De wrijvingskracht van de lagers kan worden berekend met II.3.

$$F_{wr} = \mu_{lager} \cdot m_{last} \cdot g \qquad \text{II.3}$$

$\mu$ is afhankelijk van het type lager. Voor kogellagers wordt $\mu = 0{,}0015$ genomen[11].

**Het last koppel**

Wanneer de vergelijkingen II.2 en II.3 worden ingevuld in vergelijking II.1 ontstaat vergelijking II.4. Hiermee kan het lastkoppel worden berekend.

$$T_{last} = m_{last} \cdot g \cdot \frac{D_1}{2} + \mu \cdot m_{last} \cdot g \cdot \frac{D_{as}}{2} \qquad \text{II.4}$$

Het lastkoppel is maximaal wanneer de aanhangwagen volledig is opgetakeld. De hijsbanden zijn dan opgerold, waardoor de haspeldiameter op zijn grootst is. Om het maximale lastkoppel te bepalen moet eerst de maximale haspeldiameter $D_1$bepaald worden.

**De haspeldiameter**

De haspeldiameter is afhankelijk van het aantal wikkelingen van de hijsband op de haspel. De diameter neemt bij elke wikkeling twee maal de dikte van de hijsband toe. De einddiameter kan dus worden benaderd met vergelijking II.5.

$$D_1 = D_0 + 2 \cdot w \cdot d \qquad \text{II.5}$$

De som van de omtrekken moet gelijk zijn aan de lengte van de hijsband op de haspel. Deze lengte is gelijk aan de hoogte van de aanhangwagen boven de grond. Er kan dus worden gesteld dat:

$$H = \pi \cdot D_0 + \pi \cdot (D_0 + 2 \cdot d) + \pi \cdot (D_0 + 4 \cdot d) + \pi \cdot (D_0 + 6 \cdot d) + \pi \cdot (D_0 + 8 \cdot d) + \ldots . etc.$$

Of kortweg:

$$H = \Sigma(\pi \cdot (D_0 + 2 \cdot (i-1) \cdot d)) \qquad \text{Waarbij i = 1 t/m w} \qquad \text{II.6}$$

[11] Bron: Stolk, J., *Machineonderdelen*

Om met vergelijking II.5 de diameter te bereken moet het aantal wikkelingen n worden berekend. Dit kan door vergelijking II.6 verder uit te werken naar de vorm $0 = a \cdot w^2 + b \cdot w + c$. Met de ABC-formule kan dan berekend worden hoeveel wikkelingen er nodig zijn om de lengte/hoogte H volledig op te rollen.

$$H = \Sigma(\pi \cdot D_0 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot (i-1))$$

$$H = \pi \cdot w \cdot D_0 + 2 \cdot \pi \cdot d \cdot \Sigma(i-1)$$

$$H = \pi \cdot w \cdot D_0 + \pi \cdot d \cdot w \cdot (w-1)$$

$$H = \pi \cdot d \cdot w^2 - \pi \cdot d \cdot w + \pi \cdot D_0 \cdot w$$

$$0 = \pi \cdot d \cdot w^2 - \pi \cdot d \cdot w + \pi \cdot D_0 \cdot w - H$$

$$0 = \pi \cdot d \cdot w^2 + \pi \cdot (D_0 - d) \cdot w - H$$

De ABC-formule luid:

$$\mathrm{w} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

Waarbij $a = (\pi \cdot d)$, $b = \big(\pi \cdot (D_0 - d)\big)$ en $c = (-H)$.
Wanneer deze gegevens ingevuld worden in de ABC-formule ontstaat vergelijking II.7:

$$w = \frac{-\pi \cdot (D_0 - d) + \sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H}}{2 \cdot \pi \cdot d} \qquad \text{II.7}$$

Wanneer vergelijking II.7 wordt ingevuld in vergelijking II.5 ontstaat vergelijking II.8:

$$D_1 = D_0 + 2 \cdot d \cdot \frac{-\pi \cdot (D_0 - d) + \sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H}}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

$$D_1 = D_0 + \frac{\pi \cdot (d - D_0)}{\pi} + \frac{\sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H}}{\pi}$$

$$D_1 = D_0 + \frac{\pi \cdot d - \pi \cdot D_0}{\pi} + \frac{\sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H}}{\pi}$$

$$D_1 = d + \sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H} \cdot \pi^{-1}$$

$$D_1 = d + \sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H} \cdot \sqrt{\pi^{-2}}$$

$$D_1 = d + \sqrt{(D_0 - d)^2 + \frac{4 \cdot d \cdot H}{\pi}} \qquad \text{II.8}$$

Met vergelijking II.8 kan men de diameter van de haspel op elke hijshoogte berekenen.

**Het maximale lastkoppel**

Als vergelijking II.8 in vergelijking II.4 wordt ingevuld ontstaat vergelijking II.9. Met deze vergelijking kan het maximale lastkoppel worden berekend wanneer hoogte *H* = 5 m wordt ingevuld.

$$T_{last} = m_{last} \cdot g \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( d + \sqrt{(D_0 - d)^2 + \frac{4 \cdot d \cdot H}{\pi}} \right) + \mu \cdot m_{last} \cdot g \cdot \frac{D_{as}}{2} \qquad \text{II.9}$$

$$T_{last} = 975 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( 0{,}0022 + \sqrt{(0{,}065 - 0{,}0022)^2 + \frac{4 \cdot 0{,}0022 \cdot 5}{\pi}} \right)$$

$$+0{,}0015 \cdot 975 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{0{,}035}{2} = 651{,}5\ Nm$$

De aanhangwagen wordt met twee motorreductoren opgehesen. Daarom kan het berekende lastkoppel gehalveerd worden.

$$\frac{651{,}5}{2} = 325{,}8\ Nm$$

## *Het toerental*

Het toerental van de gekozen motorreductor combinatie bepaald de hijstijd. Doordat het toerental van de motor vast is, zal de aanhangwagen steeds iets sneller omhoog gehesen worden. Dit komt door de toenemende haspeldiameter. Wanneer de gewenste hijstijd bekend is, kan het toerental van de motorreductor berekend worden met vergelijking II.10.

$$n = w \cdot \frac{60}{t} \qquad \text{II.10}$$

Het aantal wikkelingen w kan worden berekend met vergelijking II.7. Het toerental kan dan worden berekend met vergelijking II.11.

$$n = \frac{-\pi \cdot (D_0 - d) + \sqrt{\pi^2 \cdot (D_0 - d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot d \cdot H}}{2 \cdot \pi \cdot d} \cdot \frac{60}{t} \qquad \text{II.11}$$

De gewenste hijstijd *t* is van vele factoren afhankelijk. De kraan mag niet te snel hijsen, omdat dit gevaren met zich mee brengt. Te langzaam hijsen kan leiden tot irritaties bij het personeel. Daarom is er gekozen voor een hijstijd van 30 seconden. Bij de motorreductorkeuze wordt een type gekozen dat ongeveer het toerental heeft waarbij de aanhangwagen in 30 à 40 seconden boven is. Dit toerental is:

$$n = \frac{-\pi \cdot (0{,}05 - 0{,}0022) + \sqrt{\pi^2 \cdot (0{,}05 - 0{,}0022)^2 + 4 \cdot \pi \cdot 0{,}0022 \cdot 5}}{2 \cdot \pi \cdot 0{,}0022} \cdot \frac{60}{40} = 27{,}2\ omw/min$$

Bij vergelijking II.10 gaat men er vanuit dat de motorreductor meteen op zijn nominale toerental roteert, dit is niet het geval. Het kost de motorreductor in de werkelijkheid wat tijd om dit nominaal toerental te bereiken. Uit de volgende berekening zal blijken waarom deze acceleratietijd te verwaarlozen is.

## *De acceleratietijd*

Wanneer de motor wordt aangeschakeld zal de aanhangwagen versnellen totdat de motorreductor zijn nominale toerental heeft bereikt. Deze acceleratietijd is te berekenen met vergelijking II.12.

$$t_{acc} = \frac{v}{a} \qquad \text{II.12}$$

De snelheid *v* is afhankelijk van het toerental en de haspeldiameter, deze is te bereken met vergelijking II.13. Omdat de aanhangwagen vanaf de grond wordt opgehesen, kan de haspeldiameter die hoort bij H = 0 m gebruikt worden.

$$v = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n}{60} \qquad \text{II.13}$$

De versnelling *a* is te berekenen met vergelijking II.14.

$$a = \frac{F_{acc}}{m_{last}} \qquad \text{II.14}$$

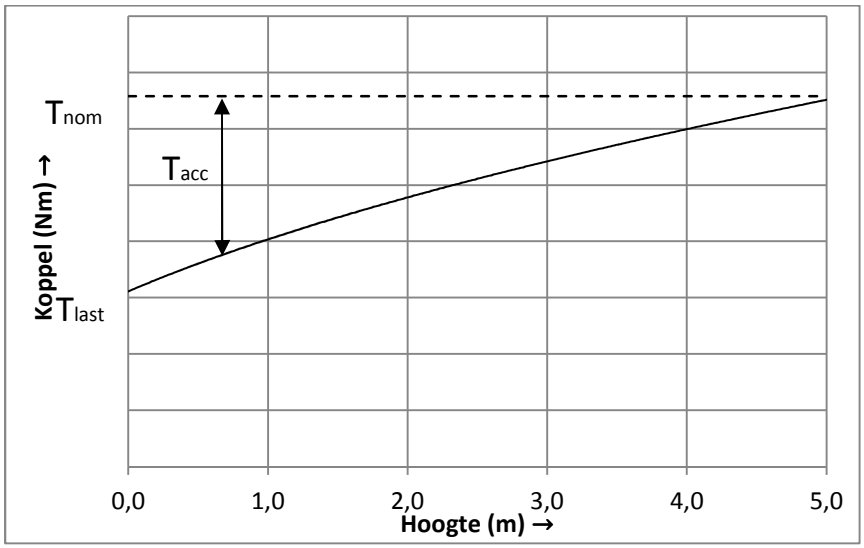
Waarbij de kracht wordt berekend met vergelijking II.15.

$$F_{acc} = \frac{2 \cdot T_{acc}}{D_0} \qquad \text{II.15}$$

Het acceleratiekoppel kan worden berekend met vergelijking II.16.

$$T_{acc} = T_{nom} - T_{last} \qquad \text{II.16}$$

Bij deze berekening wordt er vanuit gegaan dat de aanhangwagen vanaf de grond wordt opgehesen. Hierbij is het lastkoppel minimaal en het acceleratiekoppel maximaal (Figuur II.2). Dit komt door de toenemende haspeldiameter.




**Figuur II.2. Last- en nominaal koppel tegenover de hoogte**

Het minimum lastkoppel (op hoogte H = 0 m) kan worden berekend met de vergelijking II.17.

$$T_{last.min} = F_{last} \cdot \frac{D_0}{2} \qquad \text{II.17}$$

Wanneer de vergelijkingen II.13 tot en met II.17 worden ingevoegd in vergelijking II.12 ontstaat vergelijking II.18. Met deze vergelijking kan de acceleratietijd worden berekend.

$$t_{acc} = \frac{\pi \cdot D_0 \cdot n \cdot m}{\frac{120 \cdot \left(T_{\text{nom}} - F_{last} \cdot \frac{D_0}{2}\right)}{D_0}}$$

$$t_{acc} = \frac{\pi \cdot {D_0}^2 \cdot n \cdot m_{last}}{120 \cdot T_{nom} - m_{last} \cdot g \cdot 60 \cdot D_0} \qquad \text{II.18}$$

$$t_{acc} = \frac{\pi \cdot 0{,}065^2 \cdot 31 \cdot 975}{120 \cdot 329 - 975 \cdot 9{,}81 \cdot 60 \cdot 0{,}065} = 0{,}18\ s$$

Om het benodigde toerental te berekenen kan men vergelijking II.11 gebruiken. De acceleratietijd is zo kort dat deze verwaarloosbaar is.

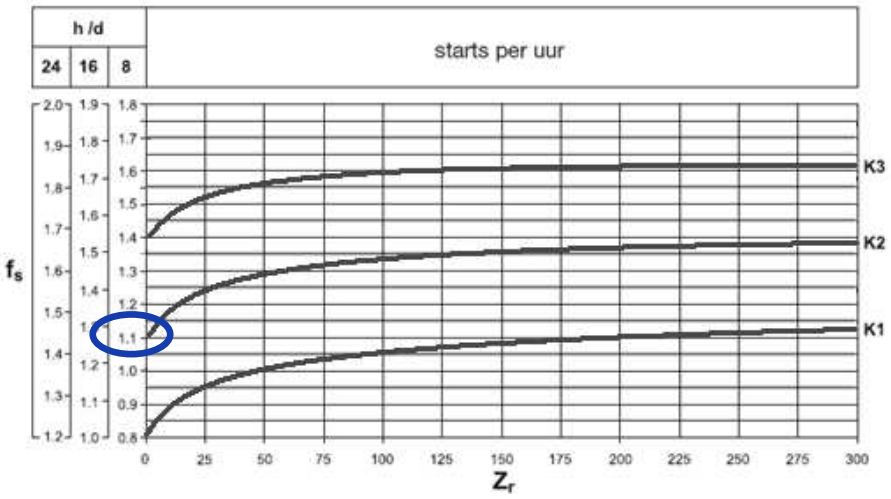
## *De motorreductorkeuze*

Nu het koppel en toerental van de motorreductor bekend zijn, kan een geschikte motorreductor worden gekozen. *Elsto* is de leverancier van motorreductoren aan *Robur*. De motor BN 100LA6 230/400-50 IP54 met reductor VF86 P1 30 P100 B5 B3 van de fabrikant *Bonfiglioli* is een motorreductor met een koppel van 329 Nm en een toerental van 31 omw/min. Nu rest alleen nog de controle voor de servicefactor.

De reductor heeft een reductorverhouding van 30. Hiermee is de reductor grotendeels zelfremmend; de last zal nooit snel naar beneden storten. Alleen bij trillingen zal de motorreductor teruglopen. Een rem op de motor lost dit probleem op.

## *De servicefactor*

Motorreductoren hebben altijd een servicefactor, welke wordt vastgesteld door de fabrikant. De gekozen motorreductor heeft een servicefactor van 1.1. De servicefactor heeft betrekking op het aantal bedrijfsuren per dag, het belastingstype en het aantal starts per uur. De servicefactor wordt bepaald aan de hand van Figuur II.3.




**Figuur II.3. De servicefactor**

Het aantal bedrijfsuren per dag en het aantal starts per uur zijn laag. De aanhangwagenkraan wordt hooguit enkele malen per maand, enkele minuten gebruikt. Hiervoor worden de laagst mogelijke waarden ingevoerd (8 uur per dag, 2 starts per uur).

Het belastingstype wordt bepaald met vergelijking II.19.[12]

$$K = \frac{J_L}{J_m} \qquad \text{II.19}$$

Het massatraagheidsmoment van de motor is te vinden in de catalogus van *Elsto.* Het massatraagheidsmoment van de last kan worden berekend met vergelijking II.20.

$$J_L = 91 \cdot \frac{m_{last} \cdot v^2}{n^2} \qquad \text{II.20}$$

Het belastingstype kan nu worden berekend met vergelijking II.21. De gekozen motor heeft een toerental van 940 omw/min.

$$K = 91 \cdot \frac{m_{last} \cdot v^2}{n^2 \cdot J_m} \qquad \text{II.21}$$

$$K = 91 \cdot \frac{975 \cdot 0{,}22^2}{940^2 \cdot 82 \cdot 10^{-4}} = 0{,}54$$

Waarbij;

| | | |
|---|---|---|
| K1 | $K \leq 0{,}25$ | Gelijkmatige belasting |
| **K2** | $\boldsymbol{K \leq 3}$ | **Matig stotende belasting** |
| K3 | $K \leq 10$ | Zwaar stotende belasting |

De servicefactor kan nu worden afgelezen in Figuur II.3. De motorreductor moet een servicefactor van tenminste 1,1 hebben. De gekozen motorreductor heeft deze servicefactor en is dus geschikt voor gebruik in de aanhangwagenkraan.

[12] Bron: Elsto aandrijftechniek, Bonfiglioli. *Reductoren*

# III. Berekening: aandrijf- en transmissieassen

In deze bijlage worden de diameters van de aandrijf- en transmissieassen berekend aan de hand van het artikel '*Het berekenen van asdiameters'* en het boek '*Machineonderdelen*'.[13] Het artikel beschrijft welke factoren er van belang zijn bij het berekenen van asdiameters. De symbolen uit deze bijlage zijn te vinden in Tabel III.1.

**Tabel III.1. Gebruikte symbolen bijlage III.**

| Symbool | Betekenis | Waarde | Eenheid |
|---|---|---|---|
| $\overline{\sigma_b}$ | Toelaatbare buigspanning | | Pa |
| $\overline{\tau_w}$ | Toelaatbare afschuifspanning | | Pa |
| $b_g$ | Correctiefactor voor diameters > 10 mm | | - |
| $b_o$ | Correctiefactor voor de oppervlaktegesteldheid | | - |
| D | Diameter | | m |
| L | Lengte | 0,12 | m |
| $L_1$ | Lengte | 0,035 | m |
| $L_2$ | Lengte | 0,025 | m |
| $M_b$ | Buigend moment | | Nm |
| $M_i$ | Ideëel moment | | Nm |
| $M_w$ | Wringend moment | 329 | Nm |
| P | Puntkracht van de hijsband | 5062 | N |
| $v_0$ | Veiligheidsfactor | | - |
| $W_b$ | Weerstandsmoment tegen buigen | | $m^3$ |
| $W_w$ | Weerstandsmoment tegen wringen | | $m^3$ |
| $\beta_k$ | Kerffactor | | - |
| $\sigma_{gr}$ | Toelaatbare totaalspanning voor buigen | | Pa |
| $\tau_{gr}$ | Toelaatbare totaalspanning voor wringen | | Pa |

De hijsinrichting heeft vier assen, welke gekoppeld worden met kettingkoppelingen.

**De reductoras**

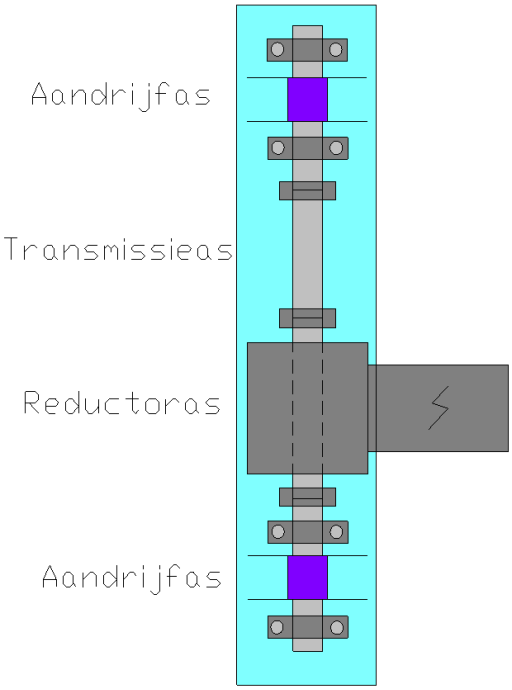
De as door de motorreductor is gekoppeld met een aandrijfas en de transmissieas. De diameter van deze as is 35 millimeter. Op de reductoras komen drie spiesleuven.

**De transmissieas**

De transmissieas brengt het vermogen van de reductoras over naar een van de aandrijfassen. De transmissieas is onderhevig aan een wringend moment. Het buigende moment dat gecreëerd wordt door de massa van de as, wordt verwaarloosd.

**De aandrijfassen**

De twee aandrijfassen dienen als haspel voor de hijsbanden. De aandrijfassen zijn onderhevig aan een buigend en een wringend moment.




**Figuur III.1. De assen in de hijsinrichting**

[13] Bron: Kaas, E.A., *De constructeur* en Stolk, J., *Machineonderdelen*

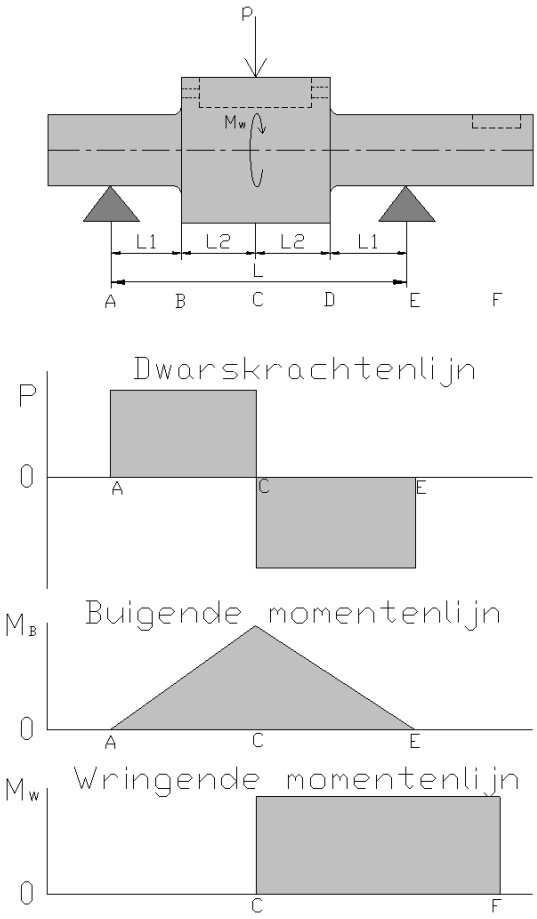
In Figuur III.2 staat de aandrijfas met enkele doorsnede-punten. De aandrijfas wordt ondersteund in punt A en E, waar de flenskogellagers komen. Op punt F wordt de aandrijfas gekoppeld met de transmissieas of reductoras.

Op punt C werkt een kracht P en een wringend moment $M_w$. Kracht P is gelijk aan de kracht op de hijsband. Het wringend moment is gelijk aan het koppel van de motorreductor.

De hijsbanden worden op punt C bevestigd. Hiervoor is een sleuf op punt C en een diametersprong van 23 millimeter op punt B en D nodig.

De diameter van de aandrijfas wordt op punt B, C, D en F berekend. Dit zijn de 'kritieke punten' met de hoogste spanning en/of een vormverandering.

Indien mogelijk worden beide flenskogellagers op de aandrijfas het zelfde. Hierdoor bestaat het ontwerp uit minder verschillende onderdelen, waardoor de productiekosten lager worden.




**Figuur III.2. Krachten in de aandrijfas**

## *Buigend en ideëel moment*

Allereerst wordt het maximaal buigend moment berekend met vergelijking III.1. Dit maximaal buigend moment treedt op in punt C.

$$M_b = \frac{P \cdot L}{4} \qquad \text{III.1}$$

Het buigend moment in punt B en D kan worden berekend met vergelijking III.2.

$$M_b = \frac{P \cdot L_1}{2} \qquad \text{III.2}$$

Het vervangend buigend moment of ideëel moment kan berekend worden met vergelijking III.3. Hierin wordt het wringend moment opgenomen. Dit ideëel moment vervangt het buigend moment, wanneer er sprake is van een combinatie van buigen en wringen. Deze formule is net als veel andere formules en grafieken in deze bijlage terug te vinden in het boek '*Machine onderdelen*' en/of het artikel '*Het berekenen van asdiameters'.*

$$M_i = \sqrt{{M_b}^2 + 0{,}75 \cdot (0{,}7 \cdot M_w)^2} \qquad \text{III.3}$$

## *Toelaatbare spanning*

Nu moet de toelaatbare buig- en afschuifspanning berekend worden. Dit kan met vergelijking III.4 en III.5. Na deze vergelijking worden waardes toegekend aan de symbolen uit de vergelijking.

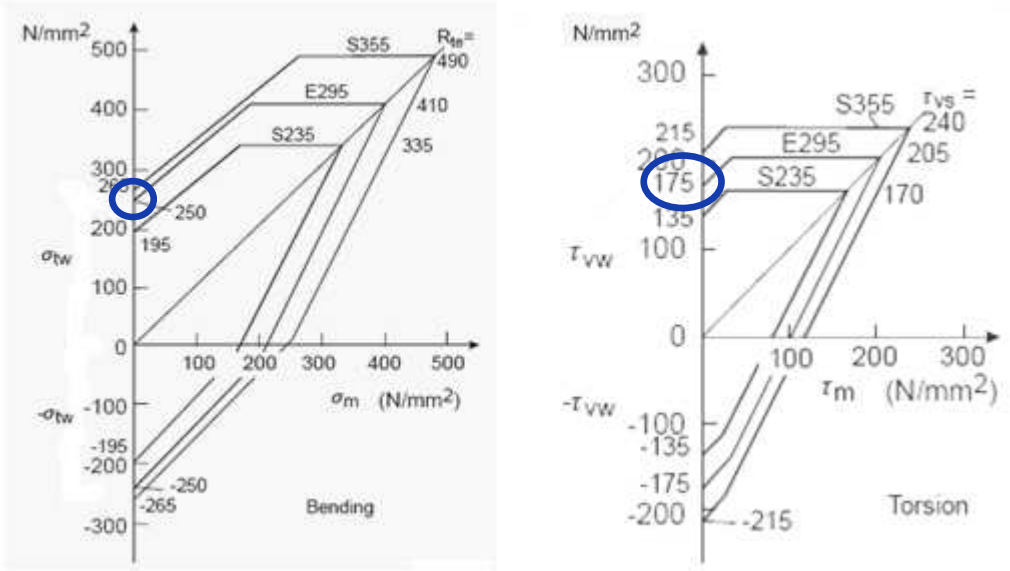
$$\overline{\sigma_{bS}} = \frac{b_g \cdot b_o}{\beta_k \cdot v_0} \cdot \sigma_{tw} \qquad \text{III.4}$$

$$\overline{\tau_{wS}} = \frac{b_g \cdot b_o}{\beta_k \cdot v_0} \cdot \tau_{vw} \qquad \text{III.5}$$

***- Toelaatbare totaalspanning $\sigma_{tw}$ en $\tau_{vw}$***

In het Smith-diagram zijn de toelaatbare totaalspanningen voor een materiaal met verschillende belastingstoestanden (buiging, trek/druk en wringen) weergegeven. De waarden zijn experimenteel bepaalt met een gepolijste proefstaaf met een diameter van 10 millimeter.

Voor delen van de as die op een buigend (of ideëel) moment worden belast gebruikt men het Smith-diagram voor buigen. Voor delen van de as die op alleen op een wringend moment worden belast gebruikt men het Smith-diagram voor torsie (zieFiguur III.3).




**Figuur III.3. Smith-diagram voor buigen en torsie**

Voor de gemiddelde spanning wordt $\sigma_m = 0\ N/mm^2$ genomen. Dit komt alleen voor in de slechte situaties, waarbij de aandrijfas continue roteert.

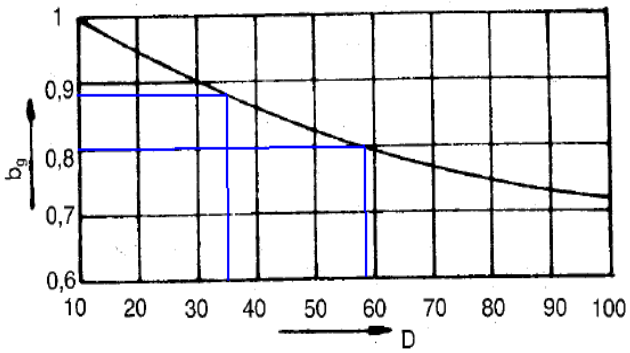
De assen worden gemaakt van E295, dit is iets duurder dan ‘gewoon’ constructiestaal S235. Door de hogere sterkte voldoen de assen met dit materiaal wel aan de constructieve eisen.

$\sigma_{tw} = 250 \cdot 10^6\ Pa$

$\tau_{vw} = 175 \cdot 10^6\ Pa$

***- Correctiefactor diameter >10 mm $b_g$***

$\sigma_{gr}$ is experimenteel bepaald met een proefstaaf met een diameter van 10 millimeter. Voor hogere diameters moet een correctiefactor worden toegepast. Er wordt geschat dat de as een diameter krijgt van 35 millimeter in punt A, B, D, E en F (de uitgaande as van de motorreductor heeft ook deze afmeting). Om de hijsband te monteren is een diametersprong van 23 millimeter nodig. De diameter in punt C wordt daardoor 58 millimeter. In Figuur III.4 kan dan de correctiefactor worden afgelezen.




**Figuur III.4. Correctiefactor voor diameters >10 mm**

$b_g = 0{,}88$ (in punt A, B, D en F)

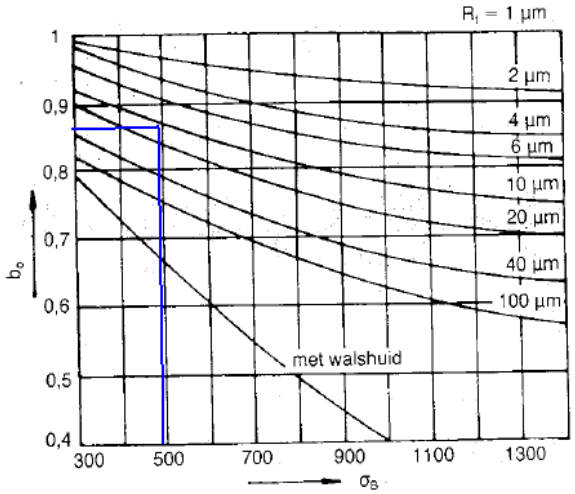
$b_g = 0{,}8$ (in punt C)

***- Correctiefactor oppervlaktegesteldheid $b_o$***

$\sigma_{gr}$is experimenteel bepaald met een gepolijste proefstaaf. Voor assen met een lagere oppervlaktegesteldheid wordt een correctiefactor toegepast.

De aandrijfassen in het ontwerp worden op een draaibank gedraaid. Hierbij ligt de oppervlakteruwheid $R_t$ tussen de 12,5 µm (grof gedraaid) en 0,8 µm (zeer fijn gedraaid). Bij het bepalen van deze correctiefactor wordt er van uitgegaan dat de aandrijfas grof wordt gedraaid.

De treksterkte van E295 is 490 MPa. De correctiefactor voor de oppervlaktegesteldheid kan nu worden afgelezen in Figuur III.5.




**Figuur III.5. Correctiefactor voor de oppervlakte gesteldheid**

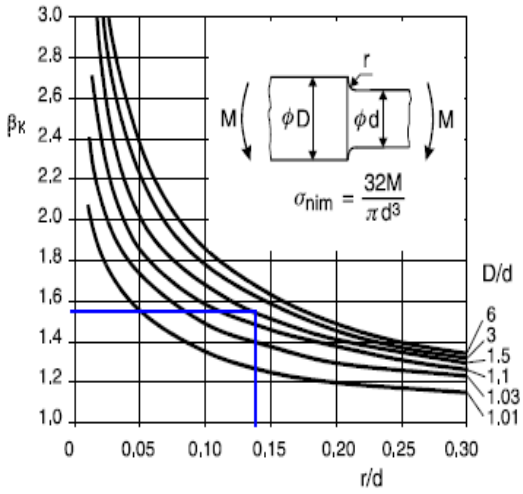
$b_o = 0{,}86$

**- Kerffactor**

De kerffactor is afhankelijk van vormveranderingen in de as.

Op punt C zit een sleuf waarin de hijsband wordt vastgemaakt. De kerffactor voor deze sleuf is niet te bepalen. Daarom wordt de waarde aangenomen. Dit wordt na de berekeningen toegelicht.

Op punt C zit een diametersprong. De kerffactor is hier afhankelijk van de afrondingsradius , de grote diameter en de kleine diameter . In Figuur III.6 is nu af te lezen dat op punt B en D.



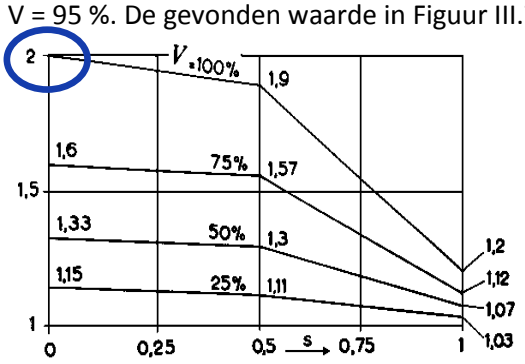

**Figuur III.6. Correctiefactor voor een diametersprong**

De kerffactor die voor de spiesleuf in punt F wordt genomen is 1,7. Deze factor geldt voor gestandaardiseerde spiesleuven bij E295.

***- Veiligheidsfactor***

De veiligheidsfactor ligt tussen de 1,0 en de 2,0. De exacte waarde wordt bepaald aan de hand van het de spanningsverhouding en de veelvuldigheidfactor. Doordat de assen worden onderworpen aan een wisselspanning is de spanningsverhouding '0' (s = 0).

De veelvuldigheidfactor V wordt berekenend door het aantal vollast-uren te delen door het aantal bedrijfsuren. Omdat de aanhangwagenkraan bijna altijd gebruikt wordt, wordt deze factor gesteld op V = 95 %. De gevonden waarde in Figuur III.7 kan worden afgerond naar '2'.




**Figuur III.7. Veiligheidsfactor**

## Weerstandsmoment

Nu alle factoren voor het berekenen van de toelaatbare spanning bekend zijn, kan het weerstandsmoment tegen buigen worden berekend. Hiervoor wordt vergelijking III.6 gebruikt.

$$W_b = \frac{M_b}{\overline{\sigma_{bS}}} \qquad \text{III.6}$$

Het weerstandsmoment tegen wringen is te berekenen met vergelijking III.7.

$$W_w = \frac{M_w}{\overline{\tau_{bS}}} \qquad \text{III.7}$$

De diameter van de as kan dan worden berekend met vergelijking III.8 of III.9.

$$D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_b}{\pi}} \qquad \text{III.8}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_w}{\pi}} \qquad \text{III.9}$$

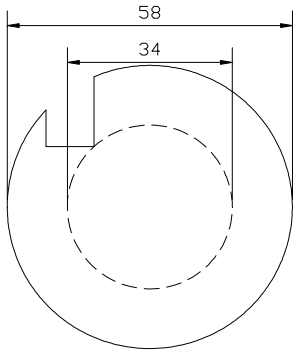
## De asdiameters

In Tabel III.2. staat de diameterberekening voor punt B, C, D en F. De transmissieas is vergelijkbaar met de aandrijfas in punt F. Daarom krijgt de transmissieas ook een diameter van 35 millimeter.

**Tabel III.2. Diameterberekeningen**

| | **Punt B** | **Punt C** | **Punt D** | **Punt F** | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Moment** | Buigend | Ideëel | Ideëel | Wringend | |
| **Vorm** | D-sprong | Sleuf* | D-sprong | Spiesleuf | |
| | | | | | |
| *Wringend moment* $\boldsymbol{M_W}$ | - | 329 | 329 | 329 | Nm |
| *Buigend moment* $\boldsymbol{M_B}$ | 88,6 | 151,9 | 92 | - | Nm |
| *Ideëel moment* $\boldsymbol{M_i}$ | - | 260 | 226 | - | Nm |
| | | | | | |
| *Spanning* $\boldsymbol{\sigma_{tw}\ of\ \tau_{vw}}$ | $250 \cdot 10^6$ | $250 \cdot 10^6$ | $250 \cdot 10^6$ | $175 \cdot 10^6$ | Pa |
| *Diameter correctiefactor* $\boldsymbol{b_g}$ | 0,88 | 0,8 | 0,88 | 0,88 | - |
| *Oppervlakte correctiefactor* $\boldsymbol{b_o}$ | 0,89 | 0,89 | 0,89 | 0,89 | - |
| *Kerffactor* $\boldsymbol{\beta_k}$ | 1,55 | 1 | 1,55 | 1,7 | - |
| *Veiligheidsfactor* $\boldsymbol{v_0}$ | 2 | 2 | 2 | 2 | - |
| *Toelaatbare spanning* $\boldsymbol{\overline{\sigma_b}\ of\ \overline{\tau_w}}$ | $61{,}0 \cdot 10^6$ | $86{,}0 \cdot 10^6$ | $61{,}0 \cdot 10^6$ | $49{,}0 \cdot 10^6$ | Pa |
| | | | | | |
| *Weerstandsmoment* $\boldsymbol{W_b\ of\ W_w}$ | $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ | $2{,}9 \cdot 10^{-6}$ | $3{,}6 \cdot 10^{-6}$ | $8{,}4 \cdot 10^{-6}$ | $m^3$ |
| | | | | | |
| *Benodigde diameter* $\boldsymbol{D_{Benodigd}}$ | 0,0245 | 0,0310 | 0,0331 | 0,0350 | m |
| *Gebruikte diameter* $\boldsymbol{D_{gebruikt}}$ | **0,035** | **0,034*** | **0,035** | **0,035** | m |

Op punt C bevindt zich een sleuf voor het bevestigen van een hijsband. Toch is er een kerffactor $\beta_k = 1$ genomen. De kerffactor van die sleuf is namelijk onbekend. Om met zekerheid te kunnen stellen dat de as de spanningen aan kan, wordt de sleufdiepte van de asradius afgetrokken (zie Figuur III.8). Er blijft dan een diameter van 34 millimeter over. Dit is meer dan de minimale diameter die de as op dit punt moet zijn. Op deze manier kan worden gesteld dat de aandrijfas in punt C niet zal bezwijken.




**Figuur III.8. Doorsnede punt C**

# IV. Berekening: frame

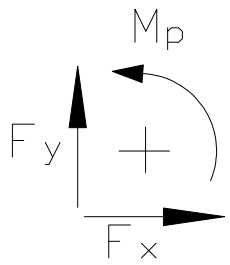
In deze bijlage wordt vastgesteld of het frame van de aanhangwagenkraan stevig genoeg is. Hiervoor worden de reactiekrachten en verplaatsingen van het frame berekend met de eindige elementen methode. Daarna worden de normaalkrachten-, dwarskrachten en buigende momenten berekend en de bijbehorende lijnen (N/D/ M-lijnen) getekend. Uit deze lijnen kunnen de maximaal optredende spanning worden bepaald. Deze spanningen worden vergeleken met de maximaal toelaatbare spanning.

De symbolen die gebruikt worden in deze bijlage staan in Tabel IV.1.

**Tabel IV.1. Gebruikte symbolen bijlage VI**

| Symbool | Betekenis | Waarde | Eenheid |
|---|---|---|---|
| **A** | Oppervlaktedoorsnede | | $m^2$ |
| **D** | Dwarskracht | | N |
| **E** | Elasticiteitsmodulus | $235 \cdot 10^9$ | Pa |
| **f** | Krachtenvector | | N en Nm |
| **$F_x$** | Kracht (in horizontale richting op punt 1) | | N |
| **I** | Oppervlaktetraagheidsmoment | | $m^4$ |
| **K** | Stijfheidsmatrix | | |
| **K** | Kritische lengtefactor | | |
| **L** | Lengte | | m |
| **M** | Buigend moment | | Nm |
| **$M_2$** | Moment (om punt 2) | -10415 | Nm |
| **N** | Normaalkracht | | N |
| **P** | Puntkracht | -12576 | N |
| **r** | Traagheidsstraal | | |
| **Re** | Vloeispanning | $235 \cdot 10^6$ | Pa |
| **u** | Verplaatsingsvector | | m en rad |
| **y** | Uiterste vezelafstand | | m |
| **α, β, ϕ** | Hoek | | rad |
| **ΔL** | Lengteverschil | | m |
| **τ** | Schuifspanning | | Pa |

In de berekeningen gelden de volgende tekenafspraken (zie Figuur IV.1). Het gewicht van de hijsarm en de krachten van de hijsbanden zijn naar beneden gericht en zijn dus negatief. Deze worden bij elkaar opgeteld en vervangen door puntkracht P ($P = 2 \cdot 5062 + 2452 = 12576\ N$). De massa van de hijsarm is niet bekend, maar wordt geschat op 250 kilogram.




**Figuur IV.1. Tekenafspraken**

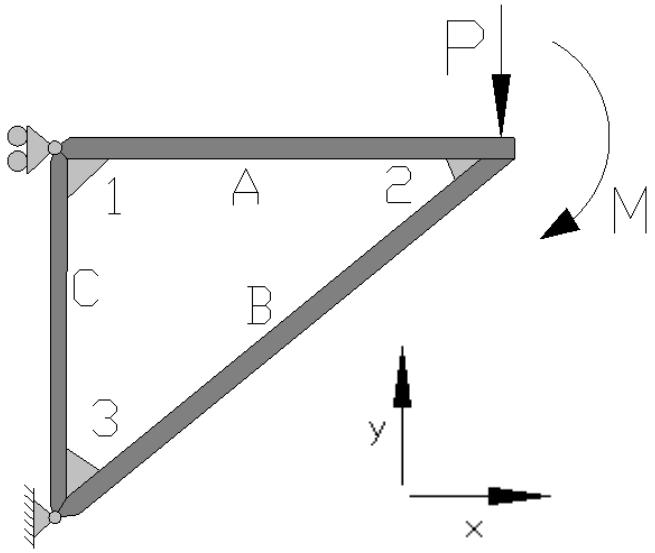
## *Reactiekrachten en verplaatsingen*

Om de N/D/ M-lijnen van de drie balken te tekenen moeten de krachten en momenten die de elementen op elkaar uitoefenen bekend zijn. Hiervoor moeten de knooppuntverplaatsingen en de reactiekrachten worden bepaalt. Dit kan met de eindige elementen methode.

Om de berekening met de eindige elementen methode te begrijpen is kennis van matrixrekenen en eindige elementen vereist. Het boek *Eindige Elementen Methode* van ir. E.F. Erdurcan vormt de basis van deze berekening.

**Vereenvoudiging**

Om de berekening overzichtelijk te houden wordt de situatie vereenvoudigd (zie Figuur IV.2). De krachten van de hijsband en de zwaartekracht worden vervangen door een kracht en een moment op knooppunt 2. Dit heeft geen invloed op de maximale interne spanningen in de elementen.




**Figuur IV.2. Vereenvoudiging voor de EEM**

**De knooppunten**

Op de constructie komen enkele knooppunten. Deze knooppunten komen op aangrijpingspunten van (reactie)krachten. De knooppunten in een constructie kunnen worden belast met een kracht in de x- en y-richting en een moment. Deze worden weergegeven met de symbolen fx, fy en M. Door de aangebrachte krachten en momenten kunnen knooppunten verplaatsen in de x- en y-richting en/of roteren. Verplaatsing in de x-richting, y-richting en rotatie wordt weergegeven met respectievelijk u, v en ϕ. De eigenschappen van knooppunten worden verzamelt in een knooppuntentabel (Tabel IV.2).

**Tabel IV.2. Knooppuntentabel**

| Nummer | Locatie | | Mogelijke verplaatsing | | | Krachten | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n | x | y | u | v | ϕ | fx | fy | M |
| 1 | 0 | 0 | 0 | v2 | * | fx1 | 0 | * |
| 2 | 1,32 | 0 | u3 | v3 | ϕ3 | 0 | -12576 | -10415 |
| 3 | 0 | -0,92 | 0 | 0 | * | fx6 | fy6 | * |

**De elementen**

Tussen de knooppunten liggen de elementen. Zoals in Figuur IV.2 te zien heeft de constructie drie elementen. De gegevens van de elementen worden verzameld in de elemententabel (Tabel IV.3).

Het symbool a geeft informatie over de rek van een element. De symbolen b, bL en $bL^2$ geven informatie over de buigstijfheid van een element. De hoek van een element wordt tegen de klok in vanaf de horizontale gemeten in radialen.

**Tabel IV.3. Elemententabel**

| Naam | Punten | | a | b | bL | $bL^2$ | Hoek | s | c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| e | i | j | $\frac{EA}{L}$ | $\frac{EI}{L^3}$ | $\frac{EI}{L^2}$ | $\frac{EI}{L}$ | α | $\sin\alpha$ | $\cos\alpha$ |
| A | 1 | 2 | 3,9E+08 | 1,2E+06 | 1,6E+06 | 2,1E+06 | 0 | 0 | 1 |
| B | 2 | 3 | 1,9E+08 | 6,6E+04 | 1,1E+05 | 1,7E+05 | 3,75 | -0,57 | -0,82 |
| C | 3 | 1 | 2,9E+08 | 3,4E+04 | 3,1E+04 | 2,9E+04 | π/2 | 1,00 | 0,00 |

Waarbij;

**Tabel IV.4. Balk eigenschappen**

| Naam | Lengte L (in m) | Elasticiteitsmodulus E (in Pa) | Oppervlakte-traagheidsmoment I (in $m^4$) | Oppervlaktedoorsnede A (in $m^2$) |
|---|---|---|---|---|
| A | 1,32 | 2,1E+11 | 1,33E-05 | 2,4E-03 |
| B | 1,61 | 2,1E+11 | 1,31E-06 | 1,44E-03 |
| C | 0,92 | 2,1E+11 | 1,26E-07 | 1,26E-03 |

**De stijfheidsmatrix**

Nu kunnen de gegevens in een matrix worden geplaatst. Het boek 'Eindige Elementen Methode' geeft een aantal stijfheidsmatrices waar de gegevens uit de elemententabel ingevuld kunnen worden.

Voor balken onder een hoek van 0 radiaal, π/2 radiaal, π radiaal en 3π/2 radiaal zijn er vereenvoudigde matrices. Balk A en C liggen onder een hoek van respectievelijk 0 radiaal en π/2 radiaal; de gegevens van deze balken worden daarom ingevuld in een vereenvoudigde stijfheidsmatrix. De gegevens van balk B worden ingevuld in de algemene stijfheidsmatrix.

Matrix 1 is de vereenvoudigde stijfheidsmatrix die hoort bij element A.

$$K^{\text{Balk: 0}} = \begin{vmatrix} a & 0 & 0 & -a & 0 & 0 \\ 0 & 12\ b & 6\ bL & 0 & -12\ b & 6\ bL \\ 0 & 6\ bL & 4\ bL^2 & 0 & -6\ bL & 2\ bL^2 \\ -a & 0 & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & -12\ b & -6\ bL & 0 & 12\ b & -6\ bL \\ 0 & 6\ bL & 2\ bL^2 & 0 & -6\ bL & 4\ bL^2 \end{vmatrix}$$

**Matrix 1. Vereenvoudigde stijfheidsmatrix voor balken waarbij α=0**

$K^A =$

| u1 | v1 | ϕ1 | u2 | v2 | ϕ2 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,9E+08 | 0 | 0 | -3,9E+08 | 0 | 0 | fx1 |
| 0 | 1,5E+07 | 9,6E+06 | 0 | -1,5E+07 | 9,6E+06 | fy1 |
| 0 | 9,6E+06 | 8,4E+06 | 0 | -9,6E+06 | 4,2E+06 | M1 |
| -3,9E+08 | 0 | 0 | 3,9E+08 | 0 | 0 | fx2 |
| 0 | -1,5E+07 | -9,6E+06 | 0 | 1,5E+07 | -9,6E+06 | fy2 |
| 0 | 9,6E+06 | 4,2E+06 | 0 | -9,6E+06 | 8,4E+06 | M2 |

**Matrix 2. Stijfheidsmatrix voor element A**

Element B staat onder een hoek van 3,75 radiaal. Hiervoor wordt de standaard stijfheidsmatrix voor balkelementen onder hoek α gebruikt (zie matrix 3). Hoek α is iedere willekeurige hoek.

$K^{Balk:\ \alpha} =$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $ac^2+12\,bs^2$ | $acs-12\,bcs$ | $-6\,bLs$ | $-ac^2-12\,bs^2$ | $-acs+12\,bcs$ | $-6\,bLs$ |
| $acs-12\,bcs$ | $as^2+12\,bc^2$ | $6\,bLc$ | $-acs+12\,bcs$ | $-as^2-12\,bc^2$ | $6\,bLc$ |
| $-6\,bLs$ | $6\,bLc$ | $4\,bL^2$ | $6\,bLs$ | $-6\,bLc$ | $2\,bL^2$ |
| $-ac^2-12\,bs^2$ | $-acs+12\,bcs$ | $6\,bLs$ | $ac^2+12\,bs^2$ | $acs-12\,bcs$ | $6\,bLs$ |
| $-acs+12\,bcs$ | $-as^2-12\,bc^2$ | $-6\,bLc$ | $acs-12\,bcs$ | $as^2+12\,bc^2$ | $-6\,bLc$ |
| $-6\,bLs$ | $6\,bLc$ | $2\,bL^2$ | $6\,bLs$ | $-6\,bLc$ | $4\,bL^2$ |

**Matrix 3. Algemene stijfheidsmatrix (voor balken onder hoek α)**

$K^B =$

| u2 | v2 | ϕ2 | u3 | v3 | ϕ3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,3E+08 | 8,8E+07 | 3,6E+05 | -1,3E+08 | -8,8E+07 | 3,6E+05 | fx2 |
| 8,8E+07 | 6,2E+07 | -5,2E+05 | -8,8E+07 | -6,2E+07 | -5,2E+05 | fy2 |
| 3,6E+05 | -5,2E+05 | 6,8E+05 | -3,6E+05 | 5,2E+05 | 3,4E+05 | M2 |
| -1,3E+08 | -8,8E+07 | -3,6E+05 | 1,3E+08 | 8,8E+07 | -3,6E+05 | fx3 |
| -8,8E+07 | -6,2E+07 | 5,2E+05 | 8,8E+07 | 6,2E+07 | 5,2E+05 | fy3 |
| 3,6E+05 | -5,2E+05 | 3,4E+05 | -3,6E+05 | 5,2E+05 | 6,8E+05 | M3 |

**Matrix 4. Stijfheidsmatrix voor element B**

Element C staat onder een hoek van π/2 radiaal. Deze kan dus worden ingevuld in de algemene stijfheidsmatrix voor balken onder een hoek van π/2 radiaal (Matrix 5).

$K^{Balk:\ 0} =$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 12 b | 0 | -6 bL | -12 b | 0 | -6 bL |
| 0 | a | 0 | 0 | -a | 0 |
| -6 bL | 0 | $4\,bL^2$ | 6 bL | 0 | $2\,bL^2$ |
| -12 b | 0 | 6 bL | 12 b | 0 | 6 bL |
| 0 | -a | 0 | 0 | a | 0 |
| -6 bL | 0 | $2\,bL^2$ | 6 bL | 0 | $4\,bL^2$ |

**Matrix 5. Vereenvoudigde stijfheidsmatrix voor balken waarbij α=π/2**

$K^A =$

| u3 | v3 | ϕ3 | u1 | v1 | ϕ1 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4,1E+05 | 0 | 1,9E+05 | -4,1E+05 | 0 | 1,9E+05 | fx3 |
| 0 | 2,9E+08 | 0 | 0 | -2,9E+08 | 0 | fy3 |
| 1,9E+05 | 0 | 1,1E+05 | -1,9E+05 | 0 | 5,7E+04 | M3 |
| -4,1E+05 | 0 | -1,9E+05 | 4,1E+05 | 0 | -1,9E+05 | fx1 |
| 0 | -2,9E+08 | 0 | 0 | 2,9E+08 | 0 | fy1 |
| 1,9E+05 | 0 | 5,7E+04 | -1,9E+05 | 0 | 1,1E+05 | M1 |

**Matrix 6. Stijfheidsmatrix voor element C**

**De systeem-stijfheidsmatrix**

De drie stijfheidmatrices (matrix 2, 4 en 6) worden geassembleerd tot één systeem-stijfheidsmatrix (matrix 7). Naast en boven de stijfheidsmatrices staan de symbolen u, v, ϕ, fx, fy en M; deze symbolen geven de locaties van de waarden in de systeem-stijfheidsmatrix weer. De waardes van delen van de stijfheidmatrices die elkaar overlappen worden bij elkaar opgeteld (de grijs gearceerde delen).

K=

| u1 | v1 | ϕ1 | u2 | v2 | ϕ2 | u3 | v3 | ϕ3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,9E+8 | 0 | 1,9E+5 | -3,9E+8 | 0 | 0 | -4,1E+5 | 0 | 1,9E+5 | fx1 |
| 0 | 3,0E+8 | 9,6E+6 | 0 | -1,5E+7 | 9,6E+6 | 0 | -2,9E+8 | 0 | fy1 |
| 1,9E+5 | 9,6E+6 | 8,6E+6 | 0 | -9,6E+6 | 4,2E+6 | -1,9E+5 | 0 | 5,7E+4 | M1 |
| -3,9E+8 | 0 | 0 | 5,1E+8 | 8,8E+7 | 3,6E+5 | -1,3E+8 | -8,8E+7 | 3,6E+5 | fx2 |
| 0 | -1,5E+7 | -9,6E+6 | 8,8E+7 | 7,7E+7 | -1,0E+7 | -8,8E+7 | -6,2E+7 | -5,2E+5 | fy2 |
| 0 | 9,6E+6 | 4,2E+6 | 3,6E+5 | -1,0E+7 | 9,1E+6 | -3,6E+5 | 5,2E+5 | 3,4E+5 | M2 |
| -4,1E+5 | 0 | -1,9E+5 | -1,3E+8 | -8,8E+7 | -3,6E+5 | 1,3E+8 | 8,8E+7 | -5,5E+5 | fx3 |
| 0 | -2,9E+8 | 0 | -8,8E+7 | -6,2E+7 | 5,2E+5 | 8,8E+7 | 3,5E+8 | 5,2E+5 | fy3 |
| 1,9E+5 | 0 | 5,7E+4 | 3,6E+5 | -5,2E+5 | 3,4E+5 | -5,5E+5 | 5,2E+5 | 8,0E+5 | M3 |

**Matrix 7. De systeem-stijfheidsmatrix**

De matrix die nu is ontstaan heet de systeemmatrix K. De verplaatsingen van de knooppunten en de krachten op de knooppunten kunnen ook in een matrix worden weergegeven. Deze matrices heten de verplaatsingsvector u en de krachtenvector f. Het verband tussen de systeem-stijfheidsmatrix, verplaatsingsvector en krachtenvector kan worden omschreven als vergelijking IV.1.

$$K \cdot u = f \qquad \textbf{IV.1}$$

Nu wordt allereerst de onbekende verplaatsing van de knooppunten berekend met vergelijking IV.2. Hierbij is $K^{-1}$ de inverse van de systeem-stijfheidsmatrix.

$$u = K^{-1} \cdot f \qquad \textbf{IV.2}$$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| v1 | | | | 2,54E-5 | m |
| ϕ1 | | | | 3,91E-4 | rad |
| v2 | = | $K^{-1}$ | • $f$ = | 7,65E-5 | m |
| u2 | | | | -4,41E-4 | m |
| ϕ2 | | | | -1,86E-3 | rad |
| ϕ3 | | | | 4,44E-4 | rad |

Nu de verplaatsingen en verdraaiingen bekend zijn, kunnen ook de onbekende reactiekrachten op de knooppunten worden berekend. Hiervoor wordt vergelijking IV.1 gebruikt.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| fx1 | | | | -29365 | N |
| fx3 | = | $K$ | • $u$ = | 29365 | N |
| fy3 | | | | 12576 | N |

## *De normaalkrachten, dwarskrachten en buigende momenten*

Met de gegevens uit de vorige paragraaf kunnen de normaalkrachten, dwarskrachten en buigende momenten worden berekend.

Om een iteratieberekening te voorkomen moeten de normaal- en dwarskrachten en een buigend moment van één element bekend zijn. Daarom worden allereerst de krachten van element C berekend. De normaalkracht in element C is te berekenen met vergelijking IV.3. De lengteverandering $\Delta L$ is gelijk aan de verticale knooppuntverplaatsing van knooppunt 1.

$$N^C = E \cdot A^C \cdot \frac{\Delta L^C}{L^C} \qquad \text{IV.3}$$

$$N^C = 210 \cdot 10^9 \cdot 1{,}26 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{25{,}4 \cdot 10^{-6}}{0{,}92} = 7292\ N$$

De dwarskracht in element C kan worden berekend met vergelijking IV.3. De normaalkracht in element A kan worden berekend door vergelijking IV.3 toe te passen op element A.

$$D^C = N^A + f_{x1} \qquad \text{IV.4}$$

$$D^C = \left(E \cdot A^A \cdot \frac{\Delta L^A}{L^A}\right) + f_{x1}$$

$$D^C = \left(210 \cdot 10^9 \cdot 2{,}426 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{76{,}5 \cdot 10^{-6}}{1{,}32}\right) - 29365 = 156\ N$$

De dwars- en normaalkrachten op de andere elementen worden berekend met de formules uit het boek ‘Eindige Elementen Methode’.

**Vergelijkingen voor knooppunt 3**

$$N^B = -f_{x3} \cdot \cos(\alpha) - f_{y3} \cdot \sin(\alpha)$$

$$N^B = -(29365 + 156) \cdot \cos(0{,}61) - (12576 + 7292) \cdot \sin(0{,}61) = -35579\ N$$

$$D^B = -f_{x3} \cdot \sin(\alpha) + f_{y3} \cdot \cos(\alpha)$$

$$D^B = -(29365 + 156) \cdot \sin(0{,}61) + (12576 + 7292) \cdot \cos(0{,}61) = -580\ N$$

**Vergelijkingen voor knooppunt 2**

$$N^A = N^B \cdot \cos(\alpha - \beta) + D^B \cdot \sin(\alpha - \beta) - f_{y6} \cdot \sin(\alpha)$$

$$N^A = -35579 \cdot \cos(0{,}61 - 3{,}14) - 580 \cdot \sin(0{,}61 - 3{,}14) + 12576 \cdot \sin(0{,}61) = 29521\ N$$

$$D^A = -N^B \cdot \sin(\alpha - \beta) + D^B \cdot \cos(\alpha - \beta) - f_{y6} \cdot \cos(\alpha)$$

$$D^A = 35579 \cdot \sin(0{,}61 - 3{,}14) - 580 \cdot \cos(0{,}61 - 3{,}14) + 12576 \cdot \cos(0{,}61) = -7292\ N$$

**De buigende momenten**

Nu moet een benadering worden gevonden voor het buigend moment. Hiervoor wordt gekeken naar knooppunt 2. Op dit knooppunt werkt een moment van -10415 Nm, welke opgevangen wordt door element A en B. De verhouding waarmee het moment wordt opgevangen wordt bepaald door de lengte en het oppervlaktetraagheidsmoment; de elasticiteitsmodulus van beide elementen is gelijk.

De verhouding X tussen de eigenschappen van beide elementen wordt berekend met vergelijking IV.5.

$$X = \frac{I_A}{L_A} \Big/ \frac{I_B}{L_B} \qquad \text{IV.5}$$

$$X = \frac{1{,}33 \cdot 10^{-5}}{1{,}32} \Big/ \frac{1{,}31 \cdot 10^{-6}}{1{,}61} = 12{,}3$$

Met deze verhouding kan het moment van element B in knooppunt 2 worden benaderd. Het moment is positief omdat deze element B doet buigen in de vorm van een dalparabool.

$$M_2^B = \left| \frac{-10415}{12{,}3} \right| = 844\ Nm$$

In werkelijkheid zal het buigend moment iets hoger zijn. Dit komt doordat element C momentvast is verbonden met element A en B. Uit de controle met EEM-software aan het eind van deze bijlage blijkt dat het werkelijke buigend moment $M_2^B = 860\ Nm$ is. Het verschil is slechts 2%, waarmee kan worden gesteld dat de benadering goed genoeg is.

Nu één van de momenten bekend is kunnen alle andere momenten worden berekend. Hiervoor worden de formules gebruikt uit het boek ‘Eindige Elementen Methode’.

$$M_2^A = M_2^B + M_2 = 844 - 10415 = -9571\ Nm$$

$$M_1^A = M_2^A - D^A \cdot L^A = -9571 + 7492 \cdot 1{,}32 = 319\ Nm$$

$$M_1^C = M_1^A = 319\ Nm$$

$$M_2^C = M_1^C - D^C \cdot L^C = 319 - 765 \cdot 0{,}92 = -385\ Nm$$

$$M_3^B = M_2^C = -385\ Nm$$

## *De N/D/M-lijnen*

In het overzicht in Tabel IV.5 staan de gevonden normaalkrachten, dwarskrachten en buigende momenten overzichtelijk bij elkaar.

**Tabel IV.5. De normaalkrachten, dwarskrachten en buigende momenten**

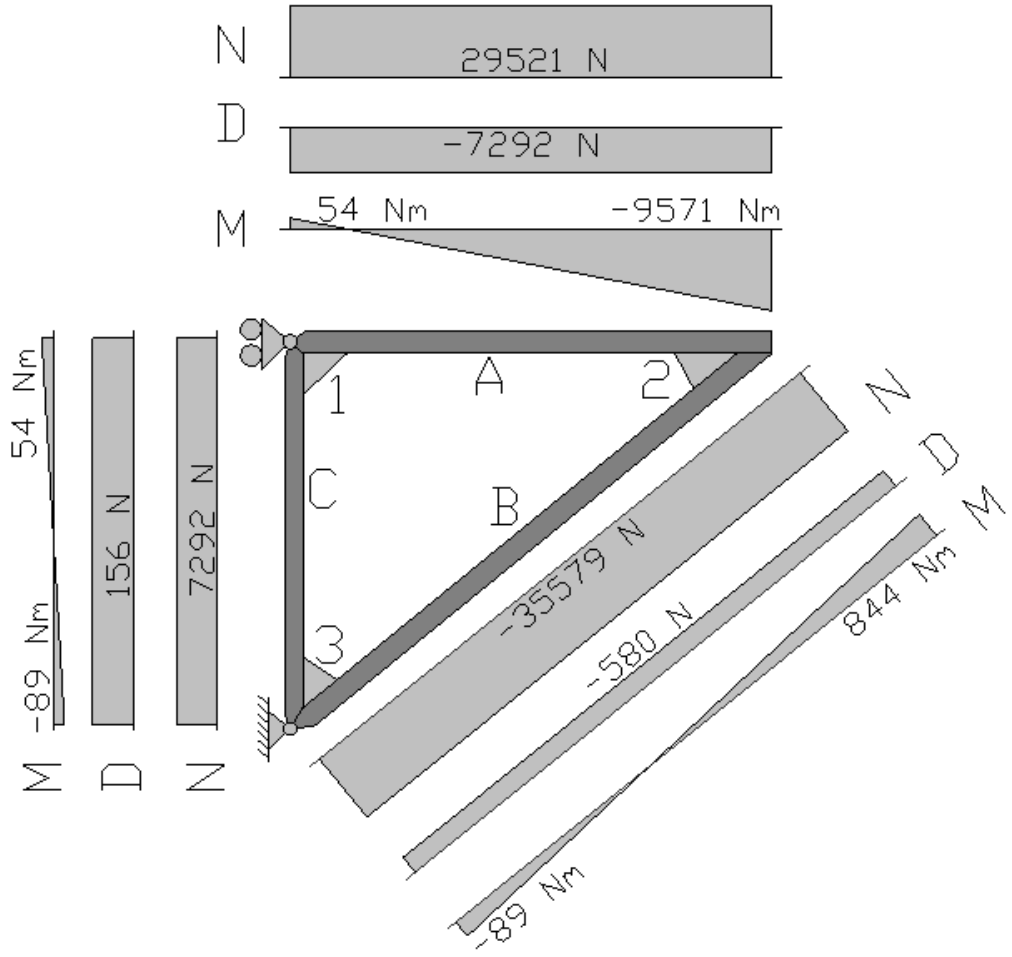
| Element | Knooppunt | Normaalkracht (in N) | Dwarskracht (in N) | Buigend moment (in Nm) |
|---|---|---|---|---|
| **A** | 1 | 29521 | -7292 | 54 |
| **A** | 2 | 29521 | -7292 | -9571 |
| **B** | 2 | -35579 | -580 | 844 |
| **B** | 3 | -35579 | -580 | -89 |
| **C** | 3 | 7292 | 156 | -89 |
| **C** | 1 | 7292 | 156 | 54 |

Met deze krachten en buigende momenten kunnen de N/D/M-lijnen getekend worden. Deze lijnen geven een beeld van de spanningen in de elementen.

Voor normaalkrachten geldt: Positieve krachten rekken een element uit;

Voor dwarskrachten geldt: Positieve krachten zorgen voor een rotatie met de klok mee;

Voor buigende momenten geldt: Positieve momenten aan weerskanten van het element geven het element de vorm van een dalparabool.




**Figuur IV.3. De N/D/M-lijnen**

## *Element A*

In de komende drie paragraven zal voor ieder element de optredende en de toelaatbare spanning worden berekend.

**Optredende spanning**

Element A ondervindt een buigspanning en een trekspanning. Om de maximaal optredende spanning te krijgen telt men deze spanningen bij elkaar op. De maximale spanning kan dan worden berekend met vergelijking IV.6.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} + \frac{N}{A} \qquad \text{IV.6}$$

$$\sigma_A = \frac{9571 \cdot 0{,}1}{13{,}2 \cdot 10^{-6}} + \frac{29521}{2{,}42 \cdot 10^{-3}} = 84{,}4 \cdot 10^6\ Pa$$

**Toelaatbare spanning**

Het frame wordt gemaakt van constructiestaal S235. Dit is goedkoop en in een groot aantal verschillende profielen verkrijgbaar. Gewoonlijk wordt voor statisch belaste constructies uit constructiestaal de maximaal toelaatbare spanning van 0,7 maal de vloeigrens genomen. Deze waarde wordt verder verminderd met een belastingsfactor wanneer de constructie onderhevig is aan een andere belastingssoort (zie Tabel IV.6).[14]

**Tabel IV.6. Belastingsfactor**

| Belastingsgeval | Soort belasting | Belastingsfactor *f* |
|---|---|---|
| I | Statische belasting | 1 |
| II | Sprong- of zwelbelasting | 2/3 |
| III | Wisselende belasting | 1/3 |

Het frame is in rusttoestand (zonder aanhangwagen) onderhevig aan de spanningen die ontstaan door het gewicht van de constructie zelf. Wanneer de aanhangwagen wordt opgetakeld, nemen de interne spanningen toe. Als de aanhangwagen bovenin is nemen de spanningen in het frame weer iets af. Het frame is dus onderhevig aan belastingsgeval II; de belastingsfactor die hierbij hoort is 2/3.

Met vergelijking IV.7 kan men de maximaal toelaatbare spanning in het frame van de aanhangwagenkraan berekenen.

$$\sigma_{toel} = Re \cdot 0{,}7 \cdot f \qquad \text{IV.7}$$

$$\sigma_{toel} = 235 \cdot 10^6 \cdot 0{,}7 \cdot \frac{2}{3} = 110 \cdot 10^6\ Pa$$

De optredende spanning in element A is lager dan de toelaatbare spanning. Element A zal niet bezwijken.

[14] Bron: Van den Boom, L.C., Jonkeren, J.H. *Tabellen en formules*

## *Element B*

**Optredende spanning**

Element B wordt met een drukkracht en een buigend moment belast. De maximale spanning in het element kan worden berekend met vergelijking IV.6.

$$\sigma_B = \frac{844 \cdot 0{,}04}{1{,}31 \cdot 10^{-6}} + \frac{35579}{1{,}44 \cdot 10^{-3}} = 50{,}5 \cdot 10^6\ Pa$$

**Toelaatbare spanning volgens AISC**[15]

Element B is belast met een drukkracht, waardoor deze kan gaan knikken. De toelaatbare spanning kan men berekenen volgens verschillende richtlijnen. Bij deze berekening worden de AISC richtlijn gebruikt. Om te bepalen welke vergelijking moet worden gebruikt, berekend men eerst de slankheid en kritische slankheid van het element.

De slankheid van een kolom wordt berekend met vergelijking IV.8. Element B is een dubbel ingeklemde balk. De kritische lengte factor voor dubbel ingeklemde balken is $K = 0{,}5$.

$$\frac{KL}{r} = \frac{KL}{\sqrt{I/A}} \qquad \text{IV.8}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0{,}5 \cdot 1{,}61}{\sqrt{1{,}31 \cdot 10^{-6}/1{,}44 \cdot 10^{-3}}} = 26{,}7$$

De kritische slankheid van een kolom wordt berekend met vergelijking IV.9. Voor de vloeispanning wordt de toelaatbare spanning van element A ingevuld. Hierdoor wordt ook voor element B rekening gehouden met de sprongbelasting.

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_v}} \qquad \text{IV.9}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9}{110 \cdot 10^6}} = 194{,}4$$

Omdat vergelijking IV.10 waar is, gebruikt men vergelijking IV.11 om de toelaatbare spanning te berekenen.

$$0 < \frac{KL}{r} < \left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} \qquad \text{IV.10}$$

$$\sigma_{toel} = \frac{\left(1 - (KL/r)^2/2 \cdot (KL/r)_{kr}{}^2\right) \cdot \sigma_v}{(5/3) + (3/8) \cdot (KL/r) \cdot (KL/r)_{kr} - (KL/r)^3/\left(8 \cdot (KL/r)_{kr}{}^3\right)} \qquad \text{IV.11}$$

$$\sigma_{toel} = \frac{(1 - 26{,}7^2/2 \cdot 194{,}4^2) \cdot 110 \cdot 10^9}{(5/3) + (3/8) \cdot 26{,}7 \cdot 194{,}4 - 26{,}7^3/(8 \cdot 194{,}4^3)} = 63{,}2 \cdot 10^6\ Pa$$

De optredende spanning is minder dan de toelaatbare spanning. Element B zal niet bezwijken onder de drukkracht in combinatie met het buigend moment.

[15] Bron: Hibbeler, R.C. *Sterkteleer*

## *Element C*

Element C wordt belast met een trekkracht, een buigend moment. Allereerst wordt gecontroleerd of element C niet bezwijkt onder deze belastingscombinatie. Daarnaast ondervind element C een afschuifspanning op de plekken waar de glijlagers het element ophangen. Ook voor deze spanning wordt een berekening uitgevoerd.

**Optredende spanning**

Element C wordt met een trekkracht en een buigend moment belast. De maximale spanning in het element kan worden berekend met vergelijking IV.6.

$$\sigma_C = \frac{89 \cdot 0{,}02}{126 \cdot 10^{-9}} + \frac{7292}{1{,}26 \cdot 10^{-3}} = 20{,}0 \cdot 10^6\ Pa$$

**Toelaatbare spanning**

De toelaatbare spanning in element C staat gelijk aan de toelaatbare spanning in element A. De toelaatbare spanning is dus $\sigma_{toel} = 110 \cdot 10^6\ Pa$. Dit is hoger dan de optredende spanning.

**Optredende afschuifspanning**

De uiteinden van de element C worden opgehangen aan twee lagers. De schuifspanning die hierbij ontstaat kan worden berekend met vergelijking IV.12.

$$\tau_C = \frac{F}{A} \qquad \text{IV.12}$$

$$\tau_C = \frac{29365}{1{,}26 \cdot 10^{-3}} = 7{,}6 \cdot 10^6\ Pa$$

**Toelaatbare afschuifspanning**

De toelaatbare afschuifspanning kan worden bepaald met vergelijking IV.13.[16] Voor $\sigma_{toel}$ wordt de toelaatbare spanning van element A ingevuld.

$$\tau_{toel} = 0{,}7 \cdot \sigma_{toel} \qquad \text{IV.13}$$

$$\tau_{toel} = 0{,}7 \cdot 110 \cdot 10^6 = 77 \cdot 10^6\ Pa$$

De optredende schuifspanning is veel lager dan de toelaatbare schuifspanning. Element C zal dus niet afschuiven bij de lagers.

[16] Bron: Van den Boom, L.C., Jonkeren, J.H. *Tabellen en formules*

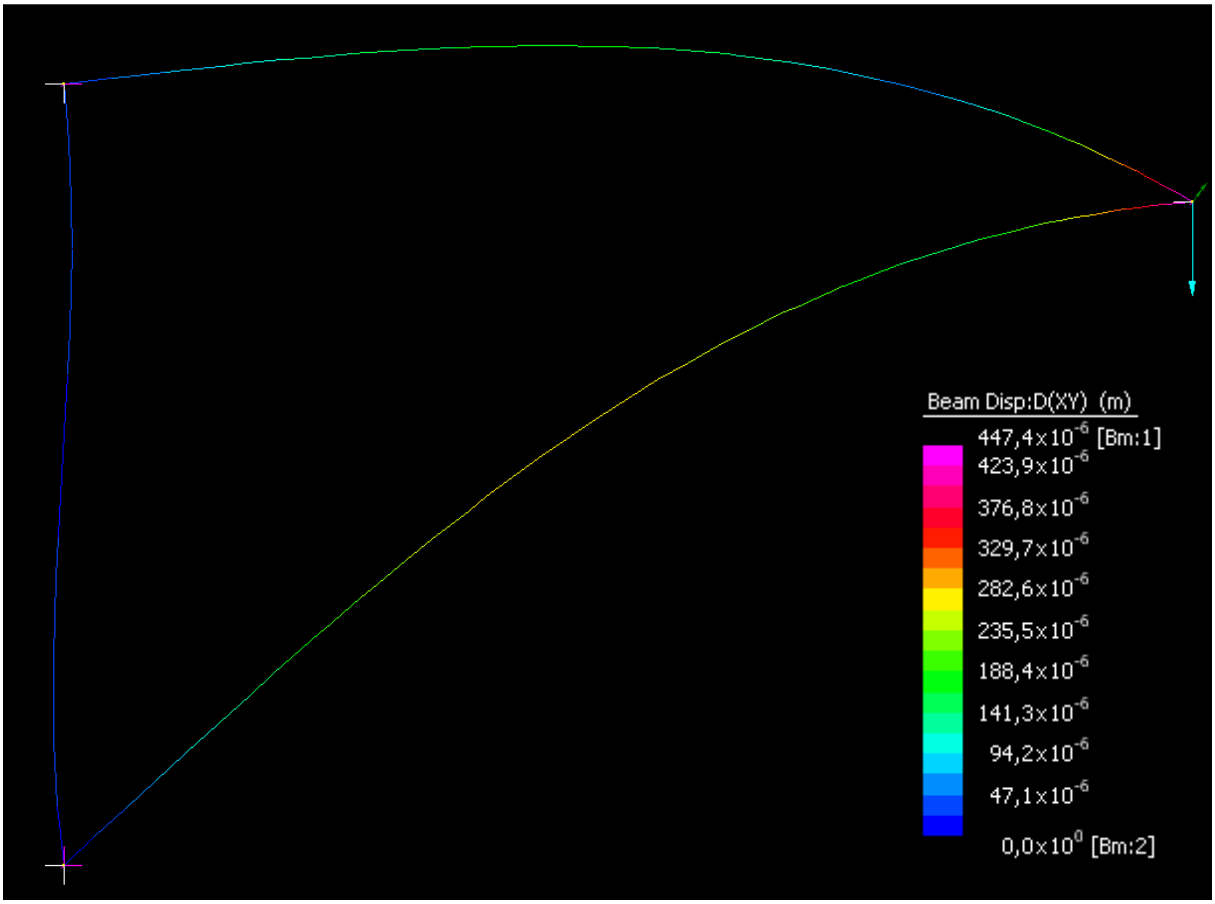
## *Controle*

Er zijn verschillende computerprogramma's op de markt die met de eindige elementen methode constructies kunnen berekenen. De berekening in deze bijlage is gecontroleerd met behulp van het programma *Strand7*.[17] In Figuur IV.4 staan de uitkomsten die met dit programma zijn berekend. De normaal- en dwarskrachten zijn exact gelijk aan de berekening in deze bijlage. Alleen de buigende momenten wijken iets af. Dit komt door de benadering van het buigende moment $M_2^B$.

| | Shear Force (N) | Bending Moment (N.m) | Axial Force (N) |
|---|---|---|---|
| Beam 1: End 1 | $-7{,}3\times10^3$ | 70,3 | $29{,}5\times10^3$ |
| Beam 1: End 2 | $-7{,}3\times10^3$ | $-9{,}6\times10^3$ | $29{,}5\times10^3$ |
| Beam 2: End 1 | -580,2 | 860,3 | $-35{,}6\times10^3$ |
| Beam 2: End 2 | -580,2 | -73,3 | $-35{,}6\times10^3$ |
| Beam 3: End 1 | 156,1 | -73,3 | $7{,}3\times10^3$ |
| Beam 3: End 2 | 156,1 | 70,3 | $7{,}3\times10^3$ |

**Figuur IV.4. Uitkomsten EEM-software**

In Figuur IV.5 is het frame te zien met de verplaatsingen en verbuigingen. Daarnaast is in kleurschaal de grootte van de verplaatsing weergegeven. Iedere balk is hiervoor opgedeeld in 20 elementen, welke op dezelfde wijze als in deze bijlage zijn doorgerekend.




**Figuur IV.5. Verplaatsingen en het buigend moment**

[17] Bron: *http://www.strand7.com/*

# V. Berekening: klap-mechanisme

Het klapmechanisme bestaat uit drie glijlagers, een verbindingsstaaf, een motorreductor en een tandheugel met tandwiel. Deze onderdelen maken het mogelijk dat de hijsarmen in kunnen klappen. In deze bijlage worden de onderdelen gekozen aan de hand van berekeningen. De symbolen die gebruikt worden in deze berekeningen staan in Tabel V.1.

**Tabel V.1. Symbolen van bijlage V**

| Symbool | Betekenis | Eenheid |
|---|---|---|
| **A** | Oppervlaktedoorsnede | $m^2$ |
| **D** | Diameter | M |
| **F** | Kracht | N |
| **$F_{zw}$** | Gewicht van de verbindingstaaf | N |
| **I** | Oppervlaktetraagheidsmoment | $m^4$ |
| **K** | kritische lengte factor | |
| **L** | Lengte | m |
| **M** | Moment | Nm |
| **n** | Toerental | omw/min |
| **O** | Omtrek | m |
| **R** | Straal | m |
| **T** | Koppel | Nm |
| **t** | Tijd | min |
| **θ** | Hoek | graden |
| **μ** | Wrijvingscoëfficiënt | |
| **σ** | Spanning | Pa |

## *De glijlagers*

De glijlagers worden ingekocht bij *Igus* en worden gekozen op de benodigde afmeting. De as door de glijlagers heeft een diameter van 40 millimeter. Het flenslager dat gebruikt wordt voor het opvangen van de radiale krachten heet GFM-4044-50. Het ringlager dat gebruikt wordt voor het opvangen van de axiale krachten heet GTM-4266-015 (zie Figuur V.1 en Tabel V.2).



**Figuur V.1. GFM-4044-50 (links) & GTM-4266-015 (rechts)**

**Tabel V.2. Afmetingen en eigenschappen van de lagers**

| Afmeting/eigenschap | GFM-4044-50 | GTM-4266-015 |
|---|---|---|
| **Binnendiameter** | 40 mm | 42 mm |
| **Buitendiameter** | 44 mm | 66 mm |
| **Flensdiameter** | 52 mm | - |
| **Lengte** | 50 mm | - |
| **Dikte** | 2 mm | 1,5 mm |
| **Maximale vlaktedruk** | 80 MPa | 80 MPa |
| **Wrijvingcoëfficiënt op staal** | 0,08 – 0,15 | 0,08 – 0,15 |

**Radiale kracht**

Uit de frameberekeningen blijkt dat de radiale kracht op het lager 29365 N is. De optredende vlaktedruk kan worden berekend met vergelijking V.1.

$$\sigma = \frac{F}{D \cdot L} \qquad \text{V.1}$$

$$\sigma_o = \frac{29365}{0{,}04 \cdot 0{,}05} = 14{,}7 \cdot 10^6\ Pa$$

**Axiale kracht**

De axiale kracht op het lager werkt op de oppervlakte van de ring-glijlager. De optredende vlaktedruk in de axiale richting kan worden berekend met vergelijking V.2.

$$\sigma_o = \frac{F}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left({D_o}^2 - {D_i}^2\right)} \qquad \text{V.2}$$

$$\sigma_o = \frac{12576}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0{,}06^2 - 0{,}042^2)} = 8{,}7 \cdot 10^6\ Pa$$

Zowel de radiale als de axiale kracht zorgt voor een vlaktedruk die kleiner is dan de toelaatbare vlaktedruk. De lagers mogen dus gebruikt worden in de aanhangwagenkraan.

## *De motorreductor*

Het vermogen van de klap-motorreductor is afhankelijk van het benodigde koppel en toerental.

**Het benodigde koppel**

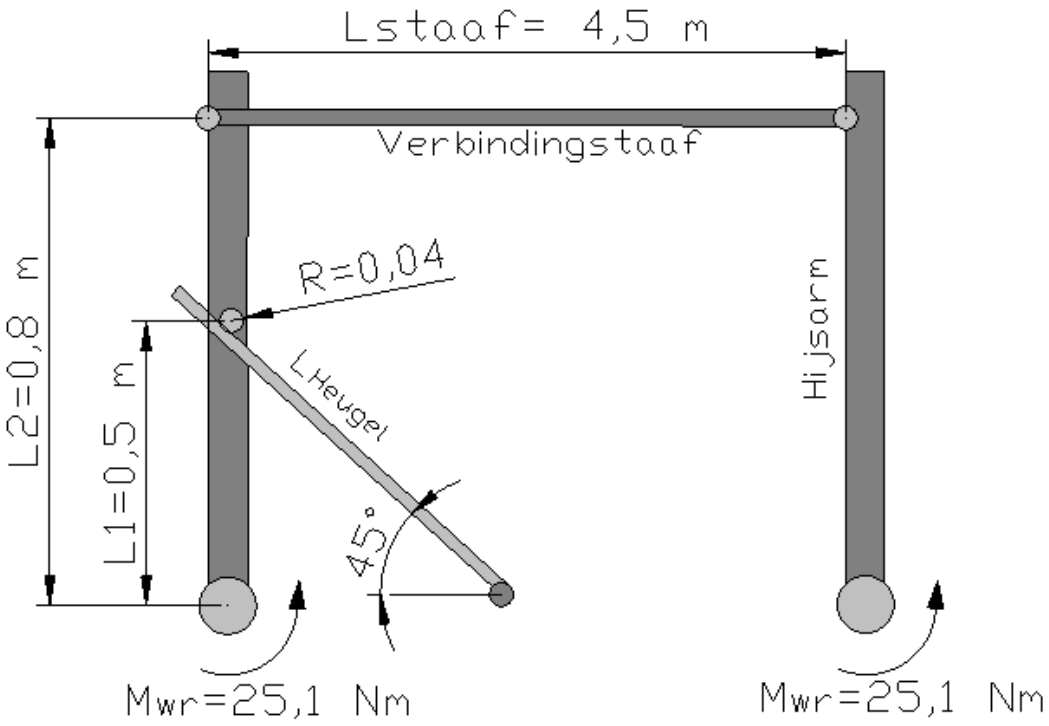
De krachten op de lagers zijn gelijk aan de drie reactiekrachten fx1, fx3 en fy3 in een onbelaste situatie. Deze waarden zijn berekend bij een eigen massa van 250 kg (2452 N), waarbij het zwaartepunt op 1,3 meter van de as ligt; deze waarden zijn beide geschat.

Het wrijvingsmoment dat ontstaat door de wrijvingskracht van de lagers kan bij benadering worden berekend met vergelijking V.3.

$$M_{wr} = (|F_{x1}| + F_{x3} + Fy_3) \cdot \frac{D}{2} \cdot \mu \qquad \text{V.3}$$

$$M_{wr} = (|-2955| + 2955 + 2452) \cdot \frac{0{,}04}{2} \cdot 0{,}15 = 25{,}1\ Nm$$

Omdat één motorreductor twee hijsarmen zal klappen wordt het benodigde moment verdubbelt naar 50,2 Nm. Wanneer de hijsarmen uitgeklapt zijn, staat de tandheugel onder een hoek van 45° (zie Figuur V.2).




**Figuur V.2. Inklapmechanisme**

Het benodigde koppel van de motorreductor kan nu worden bepaald met vergelijking V.4.

$$\left.\begin{aligned} F &= M_{wr} \cdot L_1 \\ F_{heugel} &= \frac{F}{\cos\theta} \\ T &= F_{heugel} \cdot R \end{aligned}\right\} \; T = \frac{R \cdot M_{wr}}{\cos\theta \cdot L_1} \qquad \text{V.4}$$

$$T = \frac{0{,}04 \cdot 50{,}2}{\cos(45) \cdot 0{,}5} = 5{,}7\ Nm$$

**Het toerental**

Het toerental is afhankelijk van de gewenste inklaptijd. Deze is vastgesteld op ongeveer 8 seconden (0,13 minuut). Het toerental kan men dan berekenen met vergelijking V.5. L is de afstand op de tandheugel waarover het heugelwiel zal rollen.

$$n = \frac{L_{heugel}}{t \cdot O_{heugelwiel}} \qquad \text{V.5}$$

$$n = \frac{0{,}6}{0{,}13 \cdot 0{,}126} = 36{,}6\ omw/min$$

**De motorreductorkeuze**

Motorreductorleverancier *Elsto* verkoopt een motorreductor van 0,09 kW, met een toerental van 44 omwentelingen per minuut en een koppel van 12 Nm. Deze motor is geschikt voor het in- en uitklappen van de hijsarmen.

## De heugel

De heugel wordt gekocht bij *Lock*. Dit bedrijf levert heugels en motorreductoren die gebruikt worden voor het (geautomatiseerd) openen en sluiten van de luchtramen in kassen en stallen. De heugels worden geselecteerd op de benodigde kracht. De maximale kracht op de tandheugel wordt berekend met vergelijking V.6.

$$F_{heugel} = \frac{T}{R_{heugelwiel}} \qquad \text{V.6}$$

$$F_{heugel} = \frac{12}{0{,}04} = 300\ N$$

Een serie die goed bij het klapmechanisme past is 'AZD'. Dit is een serie met relatief kleine heugels voor lage belastingen. De AZD 03.0208 is een tandheugel voor een belasting van 300 N. De lengte van de tandheugel wordt 0,8 meter.

## De verbindingsstaaf

De staaf die beide hijsarmen met elkaar verbind zal bij het uitklappen worden belast met een trekkracht. Deze trekkracht is laag en de staaf zal daardoor niet bezwijken. Bij het inklappen wordt de staaf belast met een drukkracht. Door de lengte van de staaf bestaat de kans op knikken. Hierop moet de staaf gecontroleerd worden. De staaf is een ongelijkzijdig hoekprofiel waarvan de eigenschappen te vinden zijn in Tabel V.3.[18]

**Tabel V.3. Eigenschappen verbindingsstaaf**

| Afmeting h x b x d x L | Gewicht $F_{zw}$ | Opp. Doorsnede A | Oppervlakte-traagheidsmoment I | Vezelafstand y |
|---|---|---|---|---|
| 60x40x3x4300 mm | 40,6 N | 282 x $10^{-6}$ $m^2$ | 107 x $10^{-9}$ $m^4$ | 0,0197 m |

**Optredende spanning**

De optredende spanning bestaat uit de normaalkracht en een buigend moment. De normaalkracht in de verbindingsstaaf is het grootst op het moment dat de motorreductor begint met inklappen. In een statische toestand geldt: $\Sigma M = 0$, met vergelijking V.7 kan men dan de kracht in de verbindingsstaaf berekenen. In deze vergelijking zijn momenten met de klok mee positief.

$$0 = -F_3 \cdot L_2 - M_{wr} + \sin\theta \cdot F_{heugel} \cdot L_1$$

$$F_3 = \frac{\sin\alpha \cdot F_{heugel} \cdot L_1 - M_{wr}}{L_2} \qquad \text{V.7}$$

$$F_3 = \frac{\sin 45 \cdot 300 \cdot 0{,}5 - 25{,}1}{0{,}8} = 101{,}2\ N$$

Het buigend moment wordt veroorzaakt door het gewicht van de staaf. Deze wordt berekend met vergelijking V.8.

$$M_b = \frac{F_{zw} \cdot L_3}{8} \qquad \text{V.8}$$

[18] Bron: *www.mcb.nl*

$$M_b = \frac{40{,}6 \cdot 4{,}5}{8} = 21{,}8\ Nm$$

De optredende spanning wordt berekend met vergelijking V.9.

$$\sigma = \frac{M_b \cdot y}{I_x} + \frac{F_{heugel}}{A} \qquad \text{V.9}$$

$$\sigma = \frac{21{,}8 \cdot 0{,}0197}{107 \cdot 10^{-9}} + \frac{101{,}2}{282 \cdot 10^{-6}} = 4{,}4 \cdot 10^6\ Pa$$

**Toelaatbare spanning**

Net als element B van het frame zal de toelaatbare kracht in de verbindingsstaaf worden berekend volgens de AISC richtlijn. De slankheid van een kolom wordt berekend met vergelijking V.10. De kritische lengte factor voor staven is $K = 1$.

$$\left(\frac{KL}{r}\right) = \frac{KL}{\sqrt{I/A}} \qquad \text{V.10}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right) = \frac{1 \cdot 4{,}5}{\sqrt{107 \cdot 10^{-9}/282 \cdot 10^{-6}}} = 231{,}3$$

De kritische slankheid van een kolom wordt berekend met vergelijking V.11. De verbindingsstaaf wordt afwisselend met een trek en een drukkracht belast. Deze wisselbelasting wordt verrekend in de vloeispanning (belastingsfactor *f*=1/3).

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{Re \cdot 0{,}7}} \qquad \text{V.11}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9}{235 \cdot 10^6 \cdot 0{,}7 \cdot (1/3)}} = 274{,}9$$

Omdat vergelijking V.12 waar is, gebruikt men vergelijking V.13 om de toelaatbare spanning te berekenen. Dit is de vergelijking voor middellange kolommen.

$$0 < \frac{KL}{r} < \left(\frac{KL}{r}\right)_{kr} \qquad \text{V.12}$$

$$\sigma_{toel} = \frac{\left(1 - (KL/r)^2/2 \cdot {(KL/r)_{kr}}^2\right) \cdot \sigma_v}{(5/3) + (3/8) \cdot (KL/r) \cdot (KL/r)_{kr} - (KL/r)^3/\left(8 \cdot {(KL/r)_{kr}}^3\right)} \qquad \text{V.13}$$

$$\sigma_{toel} = \frac{(1 - 231{,}3^2/2 \cdot 274{,}9^2) \cdot 110 \cdot 10^9}{(5/3) + (3/8) \cdot 231{,}3 \cdot 274{,}9 - 231{,}3^3/8 \cdot 274{,}9^3} = 18{,}6 \cdot 10^6\ Pa$$

De toelaatbare spanning op de verbindingsstaaf is groter dan de optredende spanning. Dit betekend dat de verbindingsstaaf niet zal knikken.

# VI. Elektrische componenten

In deze bijlage wordt informatie gegeven over de eigenschappen van de elektrische componenten in de aanhangwagenkraan.

## *IP-code*

Elektrische componenten krijgen een 'Ingress Protection' code[19]. Deze IP-code bestaat uit twee cijfers:

*Eerste cijfer:* *Bescherming tegen aanraking en binnendringen van voorwerpen.*
*Tweede cijfer:* *Bescherming tegen vocht.*

**Figuur VI.1. Eerste cijfer IP code**

| 1e cijfer | Bescherming tegen | Toelichting |
|---|---|---|
| **1** | Grote voorwerpen | Bescherming tegen oppervlakkige aanraking met de hand. Beschermd tegen indringen van vaste voorwerpen groter dan 50 mm. |
| **2** | Middelgrote voorwerpen | Bescherming tegen aanraking met de vinger. Beschermd tegen indringen van vaste voorwerpen groter dan 12 mm. |
| **3** | Kleine voorwerpen | Bescherming tegen aanraking met een werktuig. Aanraakveilig enkel voor meetapparaten. Beschermd tegen indringen van vaste voorwerpen groter dan 2,5 mm. |
| **4** | Spitse voorwerpen | Bescherming tegen aanraking met een werktuig. Beschermd tegen aanraking met een draad. Beschermd tegen indringen van vaste voorwerpen groter dan 1 mm. |
| **5** | Stofbestendig | Aanrakingsveilig doordat de behuizing geheel dicht is. Geen volledige bescherming tegen stof maar wel voldoende om de goede werking niet te hinderen. |
| **6** | Stofvrij | Aanrakingsveilig doordat de behuizing geheel dicht is. Volledige bescherming tegen stof. |

**Figuur VI.2. Tweede cijfer IP code**

| 2e cijfer | Bescherming | Toelichting |
|---|---|---|
| **1** | Drupdicht type I | Geen schade indien onderhevig aan verticale druppels. |
| **2** | Drupdicht type II | Geen schade indien druppels vallend onder een hoek van 15°. |
| **3** | Spatdicht | Geen schade indien besproeid (10 l/min) onder een hoek -60° tot 60°. |
| **4** | Plensdicht | Geen schade indien besproeid (10 l/min) onder iedere hoek. |
| **5** | Sproeidicht | Geen schade indien bespoten (12,5 l/min) onder iedere hoek. |
| **6** | Waterbestendig | Geen water indringing indien bespoten (100 l/min) onder iedere hoek. |
| **7** | Dompelbestendig | Geen water indringing indien ondergedompeld (30 min op 1 m). |
| **8** | Waterdicht | Blijft bruikbaar onder water onder opgegeven omstandigheden. |
| **9** | Vochtdicht | Blijft bruikbaar bij een vochtigheidsgraad boven de 90% en bij besproeien onder hoge druk. |

De elektrische componenten moeten beschermd zijn met IP54. Hierdoor zijn de componenten bestand tegen een het stof in de werkplaats en fikse schoonmaakbeurt.

[19] Bron: *http://designinfosystem.nl*

## *NO/NC (sensoren)*

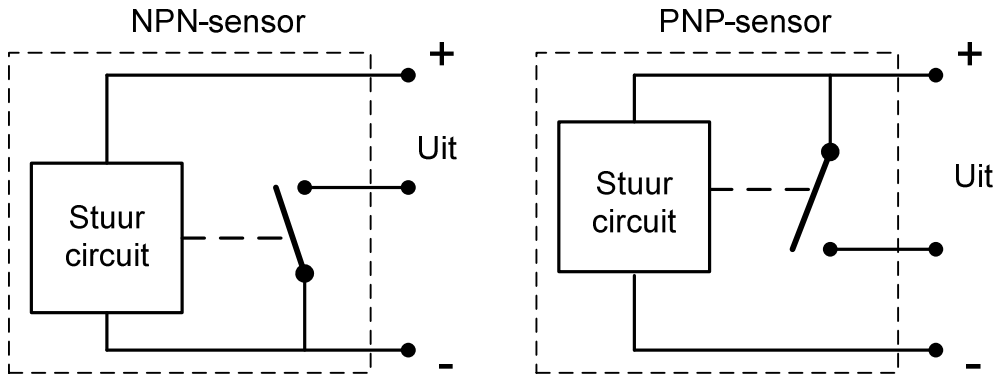
Een digitale sensor stuurt altijd een hoog of laag signaal naar de computer of PLC. Wanneer een sensor in ruststand een laag signaal geeft, is deze aangesloten met een NO (Normally Open) contact. Wanneer een sensor in ruststand een hoog signaal geeft, is deze aangesloten met een NC (Normally Closed) contact. De keuze tussen een NO- of NC-aansluiting is kan worden bepaald met de volgende vuistregel:

- *In de veilige situatie geeft de sensor een hoog signaal.*

Wanneer men zich aan deze regel houdt, zal er zich geen gevaarlijke situatie voordoen wanneer de sensor faalt of de bekabeling breekt. Er komt dan immers een laag signaal naar de computer, waardoor handelingen niet verricht mogen worden.

## *NPN/PNP (sensoren)*

Een digitale sensor heeft drie aansluitingen: de ‘plus’, ’min’ en ‘uit’. De plus- en minaansluiting worden op de voeding aangesloten, waardoor de sensor kan werken. De uit-aansluiting geeft het signaal aan de PLC. In Figuur VI.3 is een vereenvoudigde versie van een digitale sensor afgebeeld (het officiële symbool ziet er anders uit). Afhankelijk of de ‘schakelaar’ verbonden is met en plus- of minaansluiting is de sensor PNP of NPN.




**Figuur VI.3. NPN/PNP-sensoren**

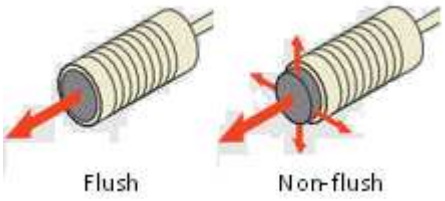
Er zijn geen grote voor- of nadelen met het gebruik van PNP of NPN sensoren, beide types worden gebruikt. In de Verenigde Staten worden meestal NPN sensoren gebruikt en in Europa meestal PNP sensoren. In de aanhangwagenkraan worden dus alleen PNP-sensoren gebruikt.[20]

[20] Bron: *http://www.plcs.net/*

## *Flush mounted (inductieve sensor)*

In de inductieve sensor bevindt zich een koperen spoel. Deze spoel creëert een magnetisch veld rondom de sensor. Wanneer een metalen object in aanraking komt met het magnetische veld zal deze het veld verstoren. Deze verstoring wordt gedetecteerd door de inductieve sensor.

De inductieve sensoren in het ontwerp zijn 'flush mounted'. Dit betekend dat deze inductieve sensor alleen metalen objecten recht boven de kop kan detecteren (zie Figuur VI.4). Dit komt door een schild rondom de sensor, welke het magnetische veld tegenhoudt. Bij non-flush mounting bevat de sensor geen schild. De sensor zal dan ook schakelen wanneer er zich metalen objecten naast de sensorkop bevinden.[21]




**Figuur VI.4. Flush en non-flush mounting**

[21] Bron: *http://industrial.omron.nl/*

# VII. Werktekeningen

In deze bijlage staan werktekeningen van speciale onderdelen of samenstellingen van de aanhangwagenkraan.

Werktekeningen worden gebruikt als communicatiemiddel tussen de tekenkamer en de werkplaats. Het is daarom van groot belang dat de werktekeningen duidelijk en begrijpelijk zijn voor beide partijen. Normaal worden tekeningen die naar de werkplaats van *Robur* gaan niet voorzien van lassymbolen, toleranties (behalve speciale passingen) of oppervlakteruwheden. De medewerkers in de werkplaats van *Robur* kennen de onderdelen en weten welke handelingen ze moeten verrichten.

In deze bijlage staan de werktekeningen van de volgende onderdelen:

**A. Aandrijfas**
De aandrijfas (of haspelas) wordt met een draaibank en freesbank gefabriceerd. De as wordt eerst verspaand uit een massieve cilinder met een diameter van 60 millimeter. Daarna worden de sleuven in het materiaal gefreesd.

De gekozen as-passing is h7. De kleine letter ‘h’ verteld dat de speling tussen de as en het lager klein is; het is een glijdende passing. Het cijfer ‘7’ verteld dat de toelaatbare maatafwijking gemiddeld is; de asdiameter moet tussen de 35,000 en 34,975 millimeter zijn[22].

**B. Onderste montagedeel**
Dit is een goed voorbeeld van een lassamenstelling. In de tekening is aangegeven waar de las wordt gelegd en welk soort las moet worden gebruikt. In deze lassamenstelling worden alleen enkele en dubbele hoeklassen gelegd.

Daarnaast worden enkele afmetingen gegeven waarmee de lasser de onderdelen kan positioneren. Ook de afmeting van de ‘basisplaat’ worden gegeven. Een rechthoekige plaat met vier gaten wordt vaker gebruikt in de aanhangwagenkraan; met deze afmetingen kan de lasser controleren of hij de juiste plaat voor zich heeft.

**C. Het hijsmechanisme**
De tekening van het hijsmechanisme is een assemblagetekening. Hierin staat altijd een materiaallijst en een overzicht van de samenstelling.

[22] Bron: Stolk, J., *Machineonderdelen*

# VIII. Competentieset

In deze bijlage staat de competentieset die bij deze afstudeerstage hoort. Omdat deze competentieset over de schrijver zelf gaat wordt in de eerste persoon geschreven.

In Tabel VIII.1 staan respectievelijk het competentieniveau waarmee ik de stage begon, mijn doelstelling en het competentieniveau waarmee ik ben geëindigd.

**Tabel VIII.1. Competentieset**

| Nummer | Competentie | Onderzoeker | | | Ontwerper | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Begin | Doel | Eind | Begin | Doel | Eind |
| **2** | Onderzoeksopdracht uitvoeren | 2 | 3 | 3 | | - | |
| **3** | Opstellen productdefinitie | 3 | 3 | 3 | | - | |
| **4** | Realiseren product | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| **5** | Realiseren detailontwerp | | - | | 2 | 3 | 3 |
| **10** | Kritisch handelen | | - | | 2 | 3 | 3 |
| **11** | Systematisch probleemaanpak | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |
| **13** | Persoonlijke/professionele ontwikkeling | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |

Tijdens mijn vorige stages is het me opgevallen dat tuinbouwautomatisering vooral mechatronica is. Daarom wil ik als werktuigbouwkundige veel kennis opdoen over elektrotechniek en programmering. Ik wil dus vooral mijn kennis te verbreden in plaats van verdiepen.

In de volgende tabellen staan de verschillende competentieniveaus. Met de grijze pijl wordt aangeduid wat de doelstelling was aan het begin van de stage. Met de donkerblauwe stip geef ik aan wat ik denk behaald te hebben.

**2. Onderzoeksopdracht uitvoeren**

Door de berekeningen met de eindige elementen methode, het maken van een elektrisch schema en het onderzoek naar de eigenschappen van sensoren kan ik stellen dat ik lastige onderzoeken in hoge mate van zelfstandigheid heb uitgevoerd.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |

**3. Opstellen productdefinitie**

Hoofdstuk 1 komt grotendeels uit het plan van aanpak van dit project. Dit PvA is opgesteld volgens de norm uit ‘Methodisch ontwerpen’. In het PvA stonden onder andere een risicoanalyse, een kosten en baten overzicht en een stuk over de kwaliteitscontrole. Het PvA heb ik zelfstandig opgezet.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |

**4. Realiseren product**

In deze afstudeerstage heb ik een ontwerp gecreëerd. Daarnaast is deze scriptie het product van deze afstudeerstage.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |

**5. Realiseren detailontwerp**

In deze afstudeerstage ben ik vooral zelfstandig tot bruikbaar ontwerp gekomen. Dit was mogelijk doordat het project geen belanghebbenden had buiten *Robur.*

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |

**10. Kritisch handelen**

Voldoet de constructie wel aan de machinerichtlijn? Is de aandrijfas een te complex onderdeel? Is het hijsmechanisme niet te langzaam? Deze vragen ben ik tegengekomen tijdens de afstudeerstage. Mijn stagebegeleider Erik en directeur Jan stelden regelmatig kritische vragen, waar ik natuurlijk niet meteen een goed antwoord op had.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |

**11. Systematische probleemaanpak**

In het verleden hechtte ik niet veel waarde aan een plan van aanpak of een uitgebreid pakket van eisen. Sinds mijn tweede stage bij *Berg Hortimotive* is dit enorm verbeterd en deze trend heb ik door gezet. Naar mijn idee is het rapport zeer logisch ingedeeld en zijn de gemaakte keuzes goed onderbouwd met de multi criteria analyse, keuzematrices, onderzoeken en berekeningen.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 ● | 5 |

**13. Persoonlijke/professionele ontwikkeling**

Ik heb altijd het probleem gehad dat ik enorm zelfstandig werk. Hoewel zelfstandig onderzoek heel leerzaam is, kom ik soms nog meer te weten door iets te vragen. Na mijn studie zal ik proberen de doelstelling van deze competentie alsnog te halen.

| | Geleid | Zelfstandig | Sturend |
|---|---|---|---|
| **Simpel** | 1 | 2 | 3 |
| **Lastig** | 2 | 3 ● | 4 |
| **Complex** | 3 | 4 | 5 |