

Een manipulator voor een bulk losinstallatie : het ontwerpen van produkten voor enkel- en klein serie-fabricage

Citation for published version (APA):

Poelma, C. F. (1979). Een manipulator voor een bulk losinstallatie : het ontwerpen van produkten voor enkel- en klein serie-fabricage. *Constructeur*, 18(9), 52-57.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

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

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

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Het ontwerpen van producten voor enkel- en klein serie-fabricage

Een manipulator voor een bulk losinstallatie

Veel is de laatste jaren besproken en geschreven over ontwerpsystematiek om het min of meer ongreepbare proces van probleemstelling tot realisatie van een optimaal produkt efficiënter te laten verlopen. Aan de hand van een uitgevoerd ontwerp zal het ontwerpproces gedeeltelijk worden gevolgd en toegelicht met enkele praktische suggesties. Gerealiseerd moet worden, dat een heel ontwerp soms staat of valt met het goed doordenken van alle problemen tot in de details (Der Teufel steckt im Detail). Als voorbeeld van een deelprobleem zal aan de krachtdoorleiding door een gehele constructie extra aandacht worden gegeven. Als onderwerp is gekozen een manipulator voor een pneumatische losmachine-elevator voor het lossen van zeeschepen met copra, derivaten of ander slechtlopend bulkmateriaal, waarmee de zuigmond op het te lossen materiaal wordt gebracht. Verschillende hierna besproken manipulators, die werden gebouwd bij Verschure te Amsterdam mede in overleg met Prof. Horowitz, zijn in gebruik bij de Graan Rotterdam.

1. DE MEEST VOORKOMENDE WERKMETHODE

Voor het lossen van schepen met copra en derivaten werden oorspronkelijk dezelfde losmachines gebruikt als de thans aangewende pneumatische graanelevatoren. Momenteel wordt ongeveer 90% van het goed toelappend bulkmateriaal – zoals graan – pneumatisch gelost. Bij de vaak op een ponton gebouwde elevator zuigt een (verdringer) pomp – via filters – lucht uit de recipiënt (figuur 1).

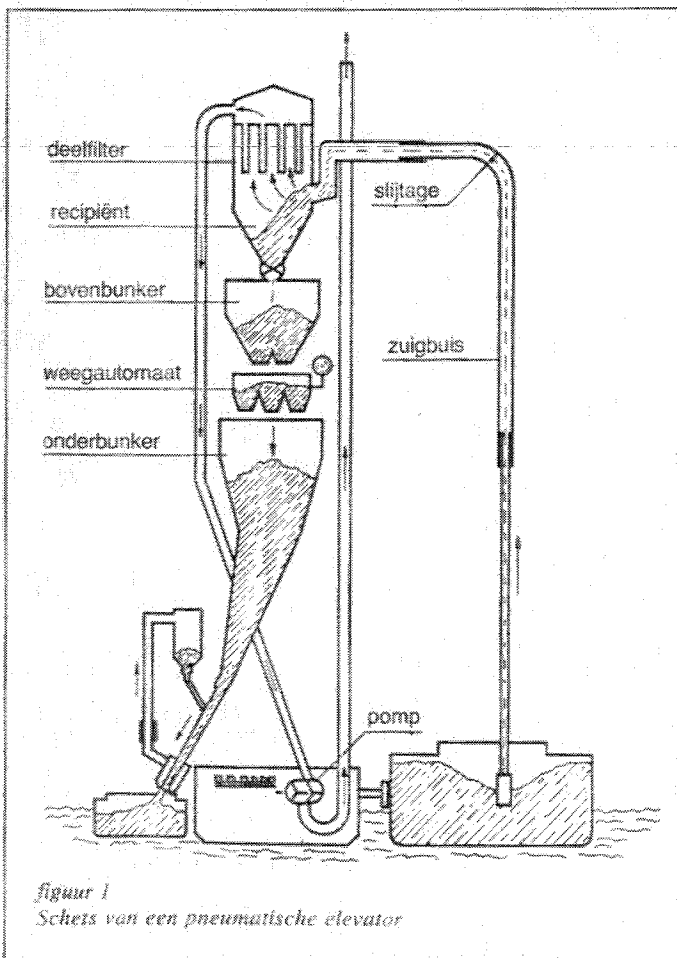
Door het op onderdruk houden van dit vat wordt door één of meer hierop aangesloten zuigbuizen graan opgevoerd uit het schip. Het graan wordt vanuit de recipiënt via een roterende klep gestort in een tussenbunker om na weging via een bunker te worden afgevoerd in kleine voertuigen.

Om aan het materiaal in de buis een verticale transportsnelheid V te geven zal de luchtsnelheid groter moeten zijn dan $V + V_z$ (V_z = zweefsneldheid). Bij de zweefsneldheid van een bolvormige korrel met diameter D en soortgelijke massa ρ_k geldt de globale evenwichtsvergelijking:

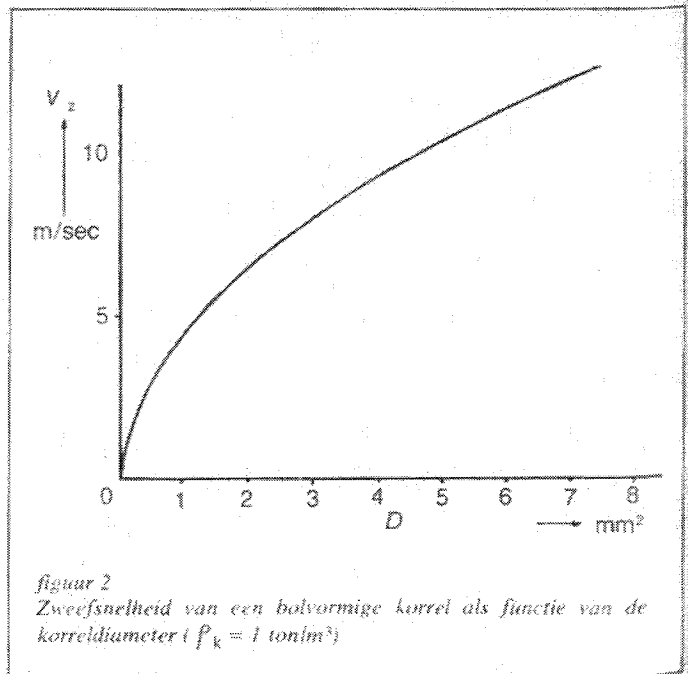
$$m_g = C_w A \cdot \frac{1}{2} \rho_L V_z^2 \quad \text{of}$$

$$V_z = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{\rho_k \cdot g D}{\rho_L \cdot C_w}} \quad \text{(figuur 2, hierbij is } \rho_k = 1 \text{ ton/m}^3\text{)}$$

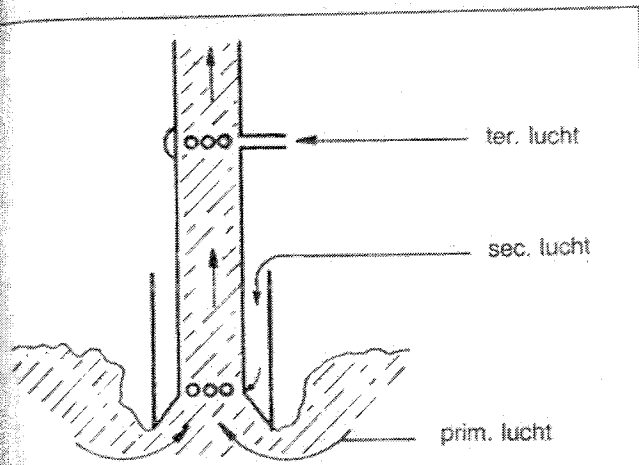
De luchtsnelheden in de zuigbuis zijn ≈ 30 m/sec. Om te voorkomen dat de luchtsnelheid in de zuigbuis teveel daalt als de zuigmond te diep in het graan steekt (luchtweerstand, plaatselijke fluïdisatie, versnelling van lucht en materiaal) wordt



figuur 1
Schets van een pneumatische elevator

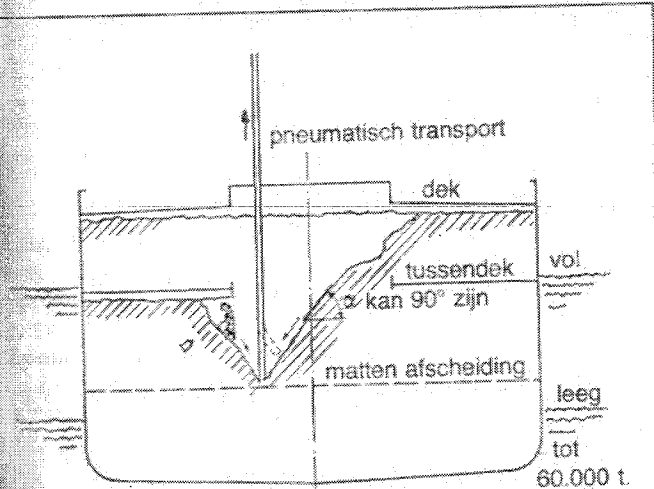


figuur 2
Zweefsneldheid van een bolvormige korrel als functie van de korreldiameter ($\rho_k = 1 \text{ ton/m}^3$)



figuur 3
Plaatsen voor toelating van secundaire en tertiaire lucht

naast de primaire ook secundaire en soms tertiaire lucht toegelaten (figuur 3). Bepalend voor de capaciteit en het rendement van de hele installatie is het al of niet handhaven van de optimale zuigcondities bij de mond. In figuur 4 wordt de werksituatie geschetst in een schip met tussendecken. Het gedeelte van de lading, dat op de separatie van matten ligt, moet worden gelost. Bij slecht lopend materiaal, zoals copra en derivaten, werd veelal onder moeilijke werkomstandigheden het vastgepakte materiaal met handkracht naar de zuigmond gebracht.



figuur 4
Werkwijze in een schip met tussendecken

2. PROBLEEMSTELLING EN PROGRAMMA VAN WENSEN

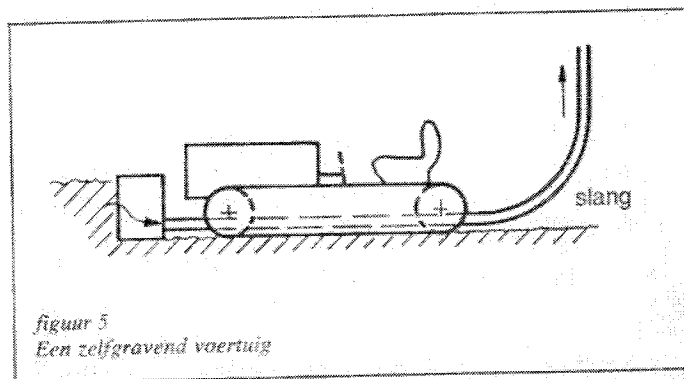
2.1 Problemen

Het hoofdprobleem van de genoemde werkmethode is de te grote lostijd van het schip o.a. doordat:
- arbeidskrachten voor genoemd werk steeds moeilijker te krijgen zijn;
- capaciteit te laag is t.g.v. een onregelmatige voeding van de zuigmond, namelijk:
- bij te grote voeding treedt verstopping op → capaciteit van deze zuigbuis te laag

- bij te geringe voeding daalt het vacuüm in de recipiënt, zodat capaciteit van alle aangesloten zuigbuizen daalt
- dwars transport (tussendecken) vraagt teveel arbeid.

2.2 Primair programma van wensen

Om genoemde problemen op te lossen kwam de wens naar voren om een zelfgravend voertuig te ontwerpen, dat met een slang zou worden aangesloten op de zuigbuis (figuur 5).



figuur 5
Een zelfgravend voertuig

De volgende wensen kwamen naar voren, o.a.:

- geschikt voor het lossen van copra
- mag de copra niet beschadigen
- loscapaciteit copra 40 ton/uur
- veiligheidseisen
- aan te sluiten op bestaande elevatorsysteem
- lossen van schepen tot 60.000 ton
- lossen van schepen met tussendecken en separaties
- rekening houden met verontreinigingen van het materiaal, bijv. jutezakken vol met copra.

2.3 Analyse van het zelfgravend voertuig

Bij de analyse van het probleem blijkt dat een voertuig rijdend op het te lossen materiaal het probleem slechts ten dele oplost, mede ten gevolge van de volgende bezwaren:

- bij het achteruit rijden van het voertuig:
- geheel of gedeeltelijk geen materiaaltoevoer
- kans op beschadiging van de zuigslang
- eerste laag onder het dek moeilijk te lossen
- het voertuig beschadigt de copra
- het voertuig rijdt moeilijk op derivaten
- energie-toevoer.

Gezien de genoemde bezwaren, is gezocht naar een andere oplossing waarbij de primaire wensen ter discussie zijn gesteld. In het algemeen kan gesteld worden dat:

- geen basisoplossing ter uitwerking moet worden gegeven zonder een goede analyse van het probleem
- als geen goede analyse heeft plaatsgevonden moet een 'ruime opdracht' worden gegeven
- het goed stellen en doorgronden van het probleem is de halve oplossing.

2.4 Secundair programma van wensen

De aangepaste wensen zijn het ledigen van het schip waarbij

- het loswerktuig steeds 'beschikbaar' is
- het schip snel leeg en
- weinig bedienend personeel nodig is
- de (extra) investering laag is.

Een manipulator voor een bulk losinstallatie

Een stap in deze richting kan een werktuig zijn, dat de zuigmond steeds in optimale zuigcondities brengt, waarbij het werktuig o.a.:

- onafhankelijk van de scheepsafmetingen moet kunnen opereren
- elk punt van het ruim moet kunnen lossen zonder handkracht of extra werktuigen zoals bulldozers
- ongevoelig is voor het te lossen materiaal
- het materiaal losmaakt en tegelijkertijd opneemt in de zuigmond
- eenvoudig te bedienen door één operator
- capaciteit:
 - copra 150 t/h
 - graan 400 t/h.

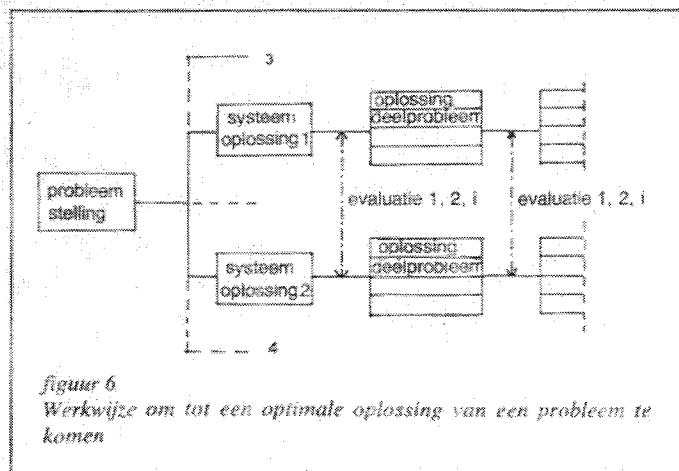
Om te vermijden dat op financiële gronden een 'halve' oplossing zou worden gekozen is het van belang, dat de ontwerper weet wat de toelaatbare economisch verantwoorde investering mag zijn. In dit geval - stel minimale capaciteitsverhoging is 25% - dan mag, afgezien van andere voordelen, de extra investering 25% zijn van de kosten van de elevator + gekapitaliseerde bediening (3 ploegen). Conclusie: het te ontwerpen werktuig mag een ruime investering vergen.

3. HET VOORONTWERP

Uitgaande van het programma van wensen moeten de gestelde functies van het produkt met de bijbehorende problemen worden geanalyseerd, waarna systematisch wegen worden gezocht om systeemoplossingen te vinden. De verschillende systeemoplossingen dienen

- de grote lijn schematisch en fysisch vast te leggen
- even ver zijn uitgewerkt om steeds objectief te kunnen vergelijken.

Het gelijktijdig uitwerken van de alternatieven kan door dezelfde of onafhankelijk van elkaar door een andere groep geschieden. Periodiek moet evaluatie tijdens het verder ontwikkelen langs de oplossingslijnen plaatsvinden waarbij de minder goede oplossingen afvallen (figuur 6).

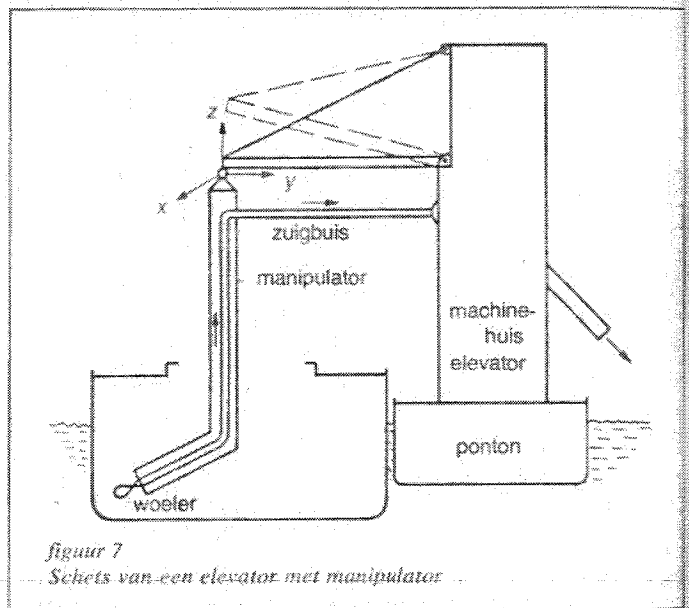


Bij het zoeken naar oplossingen voor het geheel en zijn deel functies kan gebruik worden gemaakt van:

- variatie van variabelen in coördinaten
- het denken in analogiën
- oplossingen in de vorm van modellen
- de schaalregels
- soortgelijke produktvergelijking om sneller te komen tot:
- de systeemoplossingen
- ontwerpen in (blok) schema's
- ontwerpen samengesteld uit bekende organen of organen waarvan de oplossing intuïtief mogelijk lijkt.

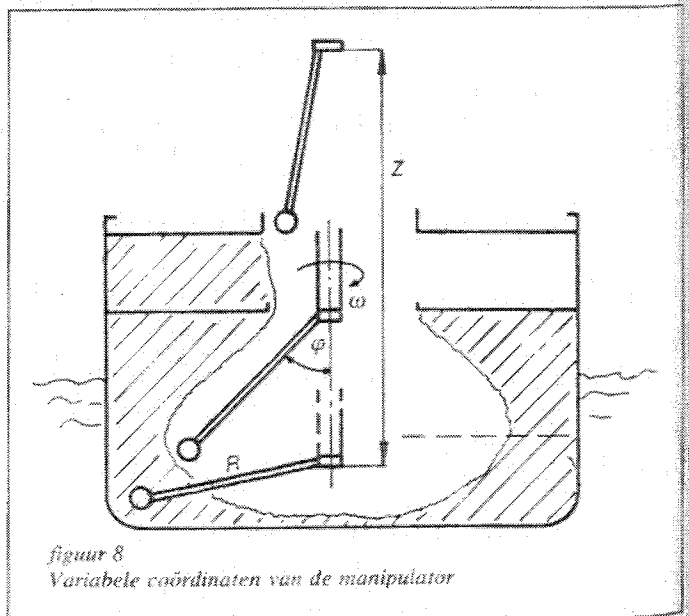
3.1 Systeemkeuze

Uit meerdere systeemoplossingen, die aan het wensenpakket voldoen, is een manipulator gekozen, welke hangend aan de uithouder van de elevator a.h.w. om de verticale zuigbuis heen gebouwd (figuur 7).



3.2 Variatie van variabelen in coördinaten

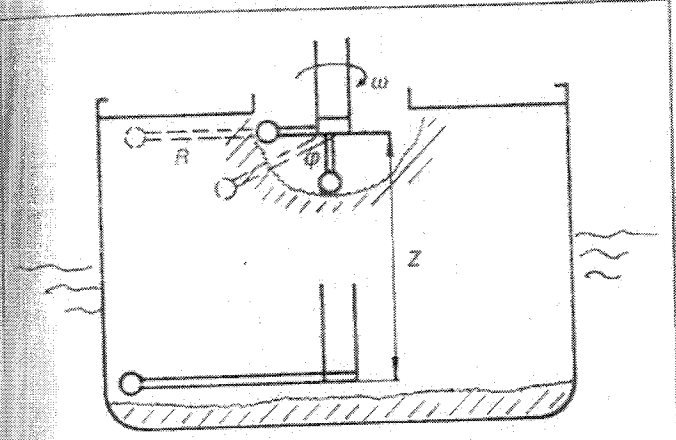
Als voorbeeld van het variabel maken van de coördinaten kan de manipulator dienen



In figuur 8 zijn als variabele coördinaten gekozen:
 φ , Z en X , Y
 X , Y zijn moeilijker te variëren.

Door deze variabelen is een groot gedeelte van een scheepsruim bereikbaar. Toch blijkt echter dat het vrij moeilijk is om onder de tussendecken materiaal af te voeren.
 De operator moeilijk in bolcoördinaten kan denken. Hierdoor is het moeilijk het materiaal boven de vlakke separaties af te voeren.
 De operator zijn aandacht teveel moet verdelen over de zuigmond en de constructie welke niet mag botsen als het continu in de scheepsruimte wordt verplaatst.
 De grote verplaatsing in Z -richting
 De frequente verplaatsing nodig in de X en Y -richting.

Door het variabel maken van een extra coördinaat, namelijk R , is het mogelijk om met de zuigmond een vlak te beschrijven ($\varphi = 90^\circ$ varieer R , ω) (figuur 9).



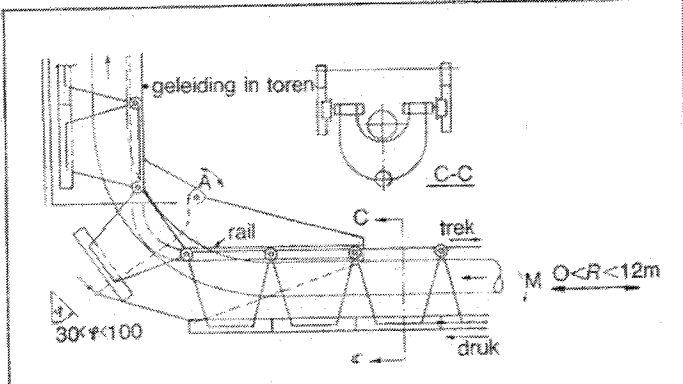
figuur 9
 Een gunstiger keuze van de variabele coördinaten

Na zorgvuldige afweging t.o.v. meerdere alternatieven en rekening houdend met de hierna volgende oplossingen van de deelproblemen t.a.v. de constructie is gekozen voor de oplossing volgens figuur 9.
 In het algemeen moet veel tijd besteed worden om te komen tot een optimale keuze van het systeem. Veel 'slechte' constructeurs gaan direct de eerste de beste oplossing uitwerken tot een niveau van 'no return'. Meestal is een goed ontwerp slecht uitgevoerd beter dan een slecht ontwerp goed uitgevoerd.

4. KINEMATISCHE UITWERKING VAN HET ONTWERP

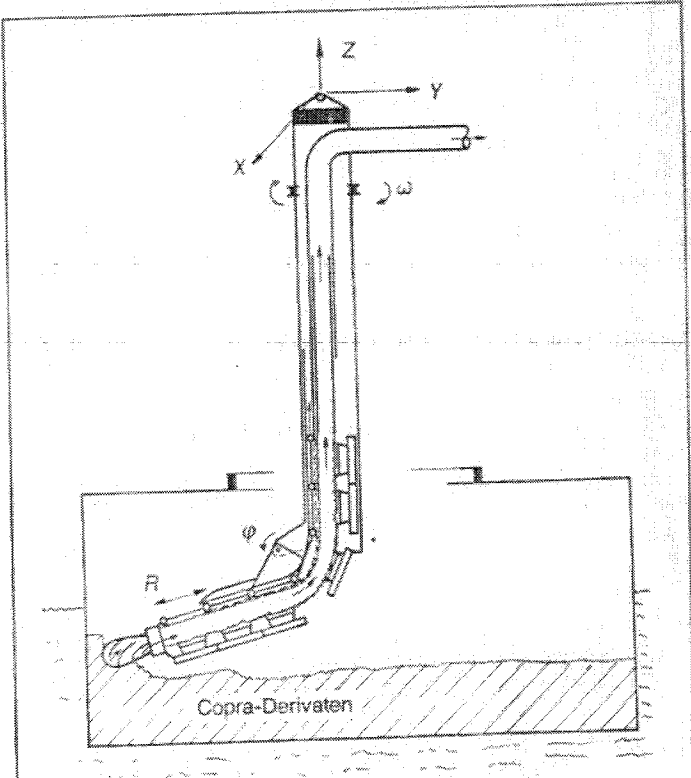
Uitgaande van de principiële oplossing moet het ontwerp in eerste instantie kinematisch worden uitgewerkt, waarbij de sterkte van de constructie slechts heel globaal wordt bekeken.
 Door verplaatsing van het ophangpunt van de manipulator aan de uithouder van de elevator zijn de coördinaten X , Y en Z te variëren (figuur 7).
 In figuur 10 is een methode weergegeven om R en φ te variëren. Hierbij is de verticale toren van de manipulator voorzien van twee geleidebanen, die aan de onderkant van de toren via een bocht overgaan in een korte dwarsrail.

De hoek φ van de korte rail is instelbaar door draaiing om het punt A. In de geleidebaan rollen de wielen van een uitschuifbare arm waarin een slang rust, welke de zuigmond verbindt



figuur 10
 Methode om de lengte en de hoek van de zuigbuis te veranderen

met een telescopische zuigbuis. De schakels van de uitschuifbare arm zijn scharnierend met elkaar verbonden. De draaiing van het scharnier wordt eenzijdig verhinderd door een buisvormige aanslag.
 Door de arm in de toren in verticale richting aan te drijven worden meer of minder schakels uit de geleiding geschoven, waardoor R varieert. De gewenste draaiing ω om de as van de zuigbuis is gerealiseerd door in de verticale toren van de manipulator een draaikrans aan te brengen. Het gehele concept is weergegeven in figuur 11.



figuur 11
 Het gehele concept van de manipulator

Bij de nadere kinematische uitwerking (figuur 12) van het toppen (φ), is rekening gehouden met:
 - een constante lengte van de zuigslang waaruit een dwingende relatie volgt tussen:
 • de plaats van het draaipunt A
 • de straal van de wielgeleiding
 • de straal van de slang in de bocht
 • plaats van de bij de stralen behorende middelpunten

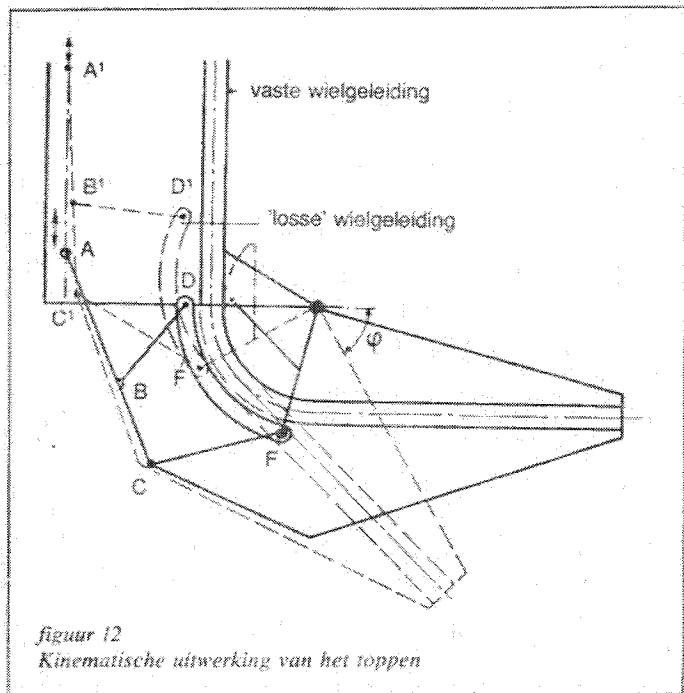
Een manipulator voor een bulk losinstallatie

op de vaste wereld, waarbij extra aandacht gericht moet zijn op de plaatsen waar de kracht overgaat van het ene lichaam op een ander.

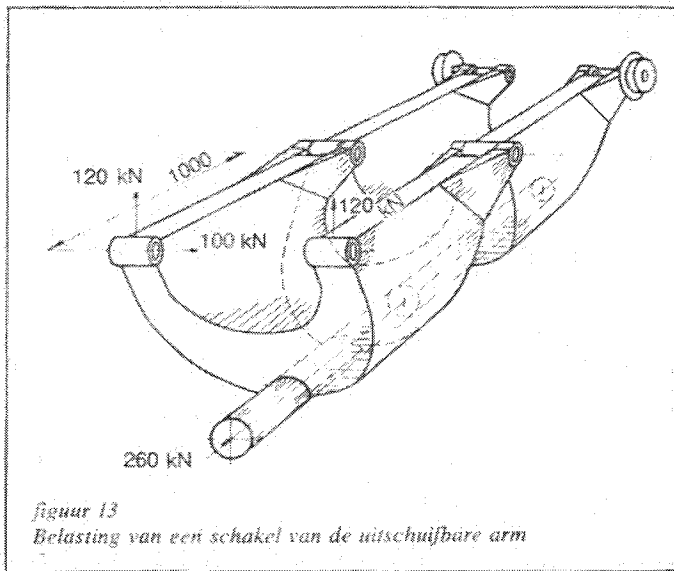
5.1. Krachtdoorleiding door uitschuifbare arm

Als de uitschuifbare arm geheel is uitgeschoven (R_{max}) bevindt de zwaarst belaste schakel zich in het begin van de geleiding en draagt hier de krachten over. De grootste krachten ontstaan door koppels, t.g.v. het gewicht en de aanzetkracht (figuur 13). Deze schakels met een beschermde uitsparing voor de zuigslang zijn doosvormige dunwandige elementen die over het algemeen moeilijk nauwkeurig te berekenen zijn o.a. door

- de relatief grote schuifkrachten
- stabiliteitsproblemen (plooien van de wand)
- sterkte van de oren (lasspanningen)



figuur 12
Kinematische uitwerking van het toppen



figuur 13
Belasting van een schakel van de uitschuifbare arm

- een wielgeleiding in de binnen- en buitenbocht voor elke waarde van
- een omgeving waar veel stof en vocht aanwezig is waarbij een draaipunt beter is dan een glijvlak.

5. DYNAMISCHE BELASTINGEN EN STERKTE

De manipulator wordt belast door o.a.:

- een ruimtelijke graafkracht
- eigen gewicht
- dynamische krachten (eigen frequenties)
- stoten bij verkeerde manipulaties.

Aangezien het eigen gewicht een belangrijk deel van de belasting is, moet door iteratie de constructie geoptimaliseerd worden. (Kosten installatie waar manipulator aanhangt). Begin met een zeer globale sterkte berekening waaruit een eerste schatting van het gewicht volgt. Voer berekeningen in principe niet nauwkeuriger uit, dan de nauwkeurigheid van de (geschatte) belasting en/of de nauwkeurigheid van het gehanteerde wiskundig model van de constructie.

In het algemeen bezwijkt de constructie niet omdat de grote lijn in een sterkteberekening minder goed is, maar daar waar de constructie moeilijk te berekenen is zoals bij krachtdoorleiding in verbindingen en daar waar discontinuïteiten optreden. Het is daarom noodzakelijk de gehele weg van de kracht nauwkeurig te volgen vanaf het aangrijppunt tot de afsteuning

Ter ondersteuning van het rekenmodel en voor het verkrijgen van extra technisch inzicht is het zinvol om een dergelijke constructie destructief te beproeven op schaal. Door in het schaalmodel achtereenvolgens de zwakste plaatsen te versterken en opnieuw te beproeven, ontstaat snel een optimale constructie waarvan de belastbaarheid bekend is. Bovengenoemde krachten worden via de wielen overgedragen op de harde vlakke geleiderail. De geharde wielen (laag gewicht) zijn gewelfd uitgevoerd om kantbelasting te vermijden t.g.v.

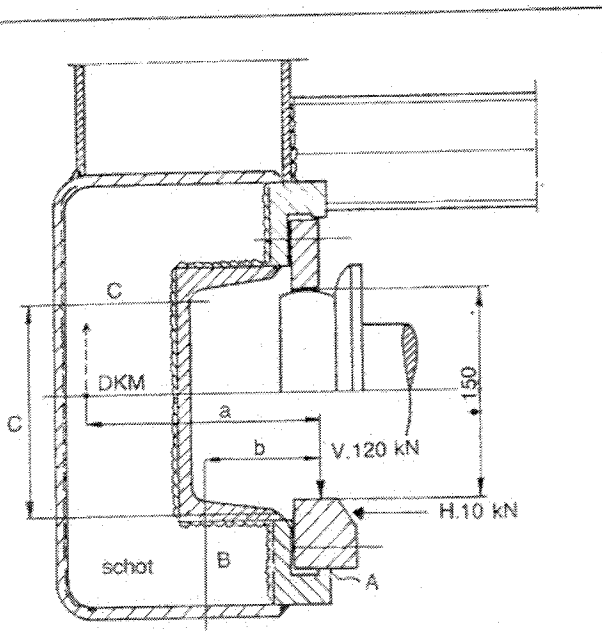
- montage- en constructie-afwijkingen
- doorbuiging van de assen
- vervorming van de constructie.

Om zeker te zijn, dat de wielen rollen bij de kleine verhouding van wieldiameter tot asdiameter mogen geen glijlagers worden toegepast.

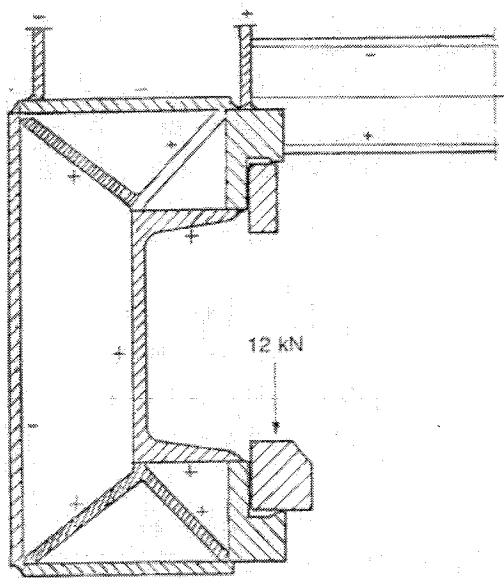
5.2. Krachtdoorleiding door de rail en ondersteuning

De dikte van de geharde rail, waarop zeer hoge spanningen optreden onder het wiel, mag niet te klein zijn, opdat de spanning eronder plaatselijk niet te hoog wordt in de te lasso zachte oplegging (figuur 14). Door plaatselijk bij A materiaal weg te nemen wordt:

- de kracht door de elastische ondersteuning over een grotere railengte verdeeld
- ondanks de verende ondersteuning geen trek in de bevestigingsbouten gebracht



figuur 14
Krachtdoorleiding door de rail en ondersteuning



figuur 15
Opbouw van de doosconstructie als een soort vakwerk

– de kracht wordt over een grotere lengte ingesteld in de verdere constructie.

In de doorsneden bij B en C moeten naast de buigmomenten ook de dwarskracht zelf goed worden opgevangen, bijv. door dwarschotten. Bij de doorleiding van de krachten door de gehele doorsnede moet voor het torsie moment van V gerekend worden met de afstand tot het dwarskrachten middelpunt.

Ook bij deze zwaarbelaste gecompliceerde constructie is ter ondersteuning van de berekeningen een beproeving op model-schaal zinvol gebleken. In plaats van dwarschotten kan de doosconstructie ook als een soort vakwerk worden opgebouwd en berekend (figuur 15). Dit geeft in het algemeen een goed inzicht in de krachtenloop van de constructie.

6. PROTOTYPE

Bij de dimensionering van een enkelfabrikaat mag de ontwerper niet teveel risico's nemen wat betreft de sterkte en levensduur. Dat mag vooral niet met de onderdelen, die achteraf moeilijk te verbeteren zijn.

Het werktuig moet bij de afnemer werken zonder veel kinderziekten. Bij een serieprodukt moet het ontwerp van het prototype zodanig op sterkte en levensduur worden berekend, dat de toegelaten spanningen $\pm 30\%$ boven de toelaatbare liggen. Tijdens de beproeving zullen de te zwakke onderdelen worden verzwaaard. Op deze wijze zal sneller een optimaal en harmonisch belast ontwerp ontstaan dan dat wordt uitgegaan van een overgedimensioneerd ontwerp, dat achteraf lichter gemaakt zou moeten worden.

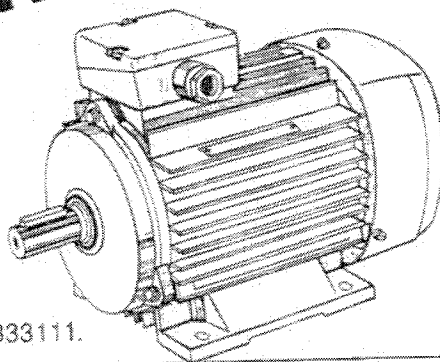
De vervaardiging van het prototype mag niet beter of slechter zijn dan later het geval is bij de serieproductie.

LITERATUUR

- [1] Stetigförderer, Kurth
- [2] Hebe- und Förderanlagen, H. Amund/F. Mechtold
- [3] Stetigförderer, Krauskopf Verlag
- [4] Strömungs - Fördertechnik, M. Weber
- [5] Fluid and Particle Mechanics, S.J. Michell

Hofstad Documentatiedienst biedt u nu ook de mogelijkheid om te reageren op advertenties. Omcirkel het betreffende codenummer op de informatiekaart achterin het tijdschrift.

**VERDRAAID GOED.....
OOK IN PRIJS.**



Vraag nadere specificatie: 010-333111.

Elektrim

ELEKTROMOTOREN

Kortsluitankermotoren van 0,06 tot 150 kW.

- bouwnorm volgens IEC
- hoog rendement
- lagering volgens DIN
- steeds uit voorraad

**STOKVIS
PROJECTEN**