

Te hoge levensduurkosten

Citation for published version (APA):

Ven, van de, M. J. J. A. (1979). Te hoge levensduurkosten. In *Onderhoud : van techniek naar terotechnologie : verslag van het 3e lustrumcongres, 9-11 mei 1979 te Maastricht. Deel 2: Parallel zittingen* (blz. 56-69). (NVDO-rapport; Vol. 1979/3). Nederlandse Vereniging voor Doelmatig Onderhoud (NVDO).

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.

DB 2 TE HOGE LEVENSDUURKOSTEN*

door: ir. M.J.J.A. van de Ven
adjunct-hoofd T.D. Pechiney Nederland NV

1. Inleiding

In de diverse bedrijfstakingen is het pelletiserings- of granuleringsproces sterk in opmars.

Het granuleringsproces is een onderdeel van het agglomeratieprocédé en als zodanig een van de basisprocessen in de mechanische procestechiek.

Met behulp van het pelletiseringsproces is men in staat korrelachtige of vezelachtige materialen te verdichten tot korrels of brokken.

De toegevoegde waarde van dit persproces manifesteert zich onder andere door de kwaliteit van het eindprodukt.

Het levert in het algemeen een handelbaar en transporteerbaar produkt dat bovendien beter houdbaar is.

De toepassing van het pelleting- of persproces treft men onder andere aan in de procestechiek, chemische-, farmaceutische- en keramische industrie en bij de veevoederfabrikage (zie tabel 1). Zie literatuur 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8.

Vooraf bij de veevoederfabrikage speelt het pelletiseringsproces een belangrijke rol. Men is zo in staat bij het persen van mengvoer een hoogwaardig produkt te leveren met additieven zoals bijv. vitaminen, mineralen en medicinalen toevoegingen.

Door de presentatie in pelletvorm is het dier gedwongen een bepaalde samenstelling met bekende voedingswaarde tot zich te nemen, hetgeen de veevoederwijze aanmerkelijk vereenvoudigt.

* Deze lezing is een samenvatting van het afstudeerwerk aan de T.H.E., afdeling werktuigonderdelen en onderhoudsaspekten, uitgevoerd bij Cehave N.V. in Veghel.

Tabel 1

Industrie	Toepassing
Procesindustrie	Vervaardiging van o.a.: Kathalysatoren, reagentia en absorbentia Kunstmest Kunststoffen t.b.v. spuitgiet- processen etc. Suikerfabrikage, verwerking van bietenpulp en Schuimaarde Behandeling van filterkoek als procesfase tussen filtratie en droging Comprimeren van restdeeltjes, cokes bruinkool, afval, etc. Verwerking van ertsen zoals bijv. ijzererts, aluminiumoxyde, etc.
Farmaceutische industrie	Fabrikage van o.a.: Geneesmiddelen, pillen, etc.
Keramische industrie	Verwerking van o.a.: Mineralen, ertsen, klei, etc.
Mengvoederindustrie	Fabrikage van vee- en pluimvee- voerders
Voedingsmiddelenindustrie	Fabrikage van zoetwaren zoals bijv. hagelslag, suikerwaren, olieprodukten, etc.

Tabel 1 geeft een overzicht van de toepassingen van het pelletiseringsproces in de diverse industrieën.

Het persen geschiedt met een vrij hoge snelheid, teneinde de gewenste capaciteit te bereiken. Daarbij treden grote krachtdichtheden op, waardoor de slijtage van de matrijs en de persrollen met hun lagers hoog is.

Dit resulteert o.a. in hoge onderhoudskosten.

2. De uitvoering van de ringmatrijs pers

Voor de uitvoering van het persproces bestaan diverse constructies. Bij de fabrikage van veevoeder is de ringmatrijsconstructie de meest gebruikte continue persmachine.

De ringmatrijpersunit heeft opmerkelijke voordelen zoals bijv. relatief geringe investeringen, eenvoudige bediening en hoge productiecapaciteit met een relatief goede kwaliteit.

Het hart van de pers wordt gevormd door de sluitdelen nl. de matrijs en de rollen.

Figuur 1 geeft schematisch het persprincipe weer.

De matrijs (a) bestaat uit een geperforeerde dikwandige ring, waarin excentrisch een of meerdere persrollen (b) zijn gemonteerd.

De perswerking ontstaat door een wigvorming tussen de rol en de matrijs.

Het te verdichten materiaal (1) wordt centrisc in de matrijs aangevoerd en door de drukopbouw in de wig door de gaatjes van de matrijs geperst. De meelgeleiders (c) zorgen voor een optimale meelverdichting over de rollen onderling en over de rolbreedte.

De rollenplaat (d) dient ter ondersteuning van de rollen en voor de bevestiging van de afstelrichting van de rolafstand.

De matrijs wordt met behulp van een klem- of boutverbinding op een meeneemplaat (e) vastgezet. Deze grondplaat wordt aangedreven via een tandwielkast en of een V-snaaroverbrenging.

Zie figuur 2 voor het aandrijfschema.

3. Levensduurkosten

De persrollen en de matrijzen vormen het kostencentrum van de persunit.

De rollen hebben ongeveer een standtijd van 500-800 uur, terwijl de standtijd van de matrijs ongeveer 1500-2000 uur bedraagt. De rollen worden na gebruik in eigen beheer gereviseerd, de rollenmantels worden door een gespecialiseerd oplasbedrijf opgelast.

De revisie houdt demontage en montage van de rollen in, waarbij preventief onderhoud gepleegd wordt.

Het preventief onderhoud betekent vervanging van de lagers en de afdichtingen.

De matrijzen worden slechts eenmalig gebruikt zodat levensduurkosten relatief hoog zijn.

Het vervangen van een matrijs is bijna altijd het gevolg van abrasieve slijtage aan het loopvlak. Figuur 3 geeft een overzicht van de diverse technische maatregelen ter verlaging van de onderhoudskosten.

3.1 *Verlaging van de onderhoudskosten*

Teneinde meer inzicht te krijgen in het faalgedrag van de rollen werd een storingsanalyse opgezet, voor een viertal fabrieken bij de Cehave.

Tabel 2 geeft een beknopt overzicht van de resultaten van deze analyse, hieruit volgt o.a. dat de lagerbeschadigingen veelal een gevolg waren van een slechte afdichting, onvoldoende smering of overbelasting van de persunit.

Bij een verbeterde afdichting en smering rijst de vraag of het mogelijk is de lagers meerdere malen te gebruiken, gezien de relatief korte standtijd van de rollen.

Hiervoor is het nodig meer inzicht te krijgen in het verloop van de optredende belasting, zowel bij de normale bedrijfs-situatie als bij overbelasting.

Ter verkrijging van een hogere standtijd en ter bevordering van de onderhoudbaarheid werden een aantal praktijkproeven opgezet.

3.2 Kostenverlaging m.b.t. de lagers

Figuur 4 geeft een schematische voorstelling van de berekeningsvolgorde bij het bepalen van de optredende belasting.

De krachten op de lagers bij de normale bedrijfssituatie kan men bepalen met behulp van o.a. de contacttheorien van Hertz en Summerfield.

De optredende kracht bij vastloop situaties, volgt uit het maximale motorvermogen.

Tabel 3 geeft een overzicht van de berekeningsresultaten voor een 3-tal perstypen.

Uit de berekening van de optredende krachten kan met het vereiste draaggetal van de lagers bepalen.

Dit had tot gevolg dat bij de huidige constructieve uitvoeringen de lagers van de typen S-375 en HV3/150C twee tot driemaal gebruikt kan worden. De lagering van de S-225 rol is kritischer en kan hoogstens een keer worden teruggezet.

Voorgesteld werd dan ook een lager modificatie uit te voeren, zodat ook hier 2 à 3 keer terugzetten mogelijk is. De uitgebouwde lagers dienen ultrasoon gereinigd te worden.

Uit de berekening van de werkelijke contactlengte, waarover de krachtdoorleiding op het lager plaats vindt, relatief klein is. De werkelijke contactlengte is in de praktijk iets groter ten gevolge van de bijstelling van de excentriciteit. Een vrij groot deel van het lager is echter onbelast en verslijt dan ook praktisch niet.

Bij een eventueel terugzetten van de lagers wordt aanbevolen het lager in tegengestelde positie te monteren, zodat het oorspronkelijke loopvlak niet meer belast wordt.

In de praktijk betekent dit dat bij de montage op de positie van het lager gelet moet worden, hetgeen bij de huidige gang van zaken ook administratief goed te realiseren is.

Het terugzetten van de lagers geeft een kostenbesparing van minstens f 50.000,-

Tabel 2		Locatie			
		D.B. 1	D.B. II	R.W. II	R.W. IV
Totaal aantal bekeken rollen		169	62	45	91
Lager	vast	6.5%	8.0%	-	1%
	stuk	7.6%	4.8%	-	13%
	slijtage				
Mantel	100%	52 %	58 %	91 %	61%
	75%	13 %	11.3%	6.6%	4.3%
	50%	27 %	22.5%	2.2%	20.8%
Achterste olie-keerring stuk		10 %	9.6%	-	14%
Voorste olie-keerring stuk		1 %	3.2%	-	-
IJzer in de wig		33 %	24 %	20 %	14%
Stuk uit de oplas		2 %	-	2.2%	5.5%
Mantel stuk		-	3.2%	-	2.19%
Smearing onvoldoende		10.6%	6.4%	-	21%

Tabel 2 geeft de belangrijkste resultaten van de storinganalyse.

Tabel 3

Perstype	Kracht op de lagers bij normaal bedrijf (KN)	Kracht op de lagers bij vastloop situaties (KN)	Levensduur bij normaal bedrijf in uren	Gemiddelde standtijd rollen in uren
Sizer 225	70	147	600	565
Sizer 375	82	166	2400	828
HV3/150 C	58	144	1900	712

Tabel 3 geeft de krachten op de lagers en de rollen, alsmede de levensduur resp. standtijd van de lagers en rollen.

- Hydrodynamische lagering van de persrollen in plaats van rollagers zou een goede oplossing kunnen bieden voor de lagering van de rollen.
Vooral omdat de belasting op de rol nogal een stotend karakter heeft.
Door middel van een hydrodynamische smering krijgt men een zelfinstellend effect van de lagerbelasting en de optredende belastingkracht.

3.3 De rollenmantels

Momenteel worden de rollenmantels opgelast m.b.v. lasdraad, waarna gleuven in het oppervlak werden geslepen voor de profilering van de rol.

Om een hogere standtijd van de rolmantels te verkrijgen alsmede een verbeterde constructie zijn diverse praktijkproeven opgezet.

We zullen in het kort de diverse proeven, alsmede de resultaten bespreken.

We verdelen de proeven globaal in de volgende categorieën:

- a. materiaalkeuze van de mantel
- b. constructieve wijziging
- c. afdichtingen

Ad a. Materiaalkeuze van de mantel

De materiaalkeuze is vooral van belang bij de persmantel, en bestaat hoofdzakelijk uit de keuze van de oppervlaktebehandeling of oplaslegering.

De standtijden van de persrollen liggen in de grootte orde van 500-800 mm bij een gemiddelde hardheid van RC 50.

Door de toepassing van slijtvastere- en hardere materialen + RC 60 blijkt een duidelijke standtijdsverhoging realiseerbaar van minstens 30%. Wel neemt dan de breukkans toe bij overbelasting van de persunit.

- Oppervlaktebehandeling
We noemen hier onder andere het Durni-Coat proces,

opholen, cementeren, inductieharderen, etc.

Het Durni-Coat proces is een stroomloos vernikkelp proces, het is toepasbaar op praktisch alle ferrietische staal-soorten en geeft een gladde, stabiele slijtvaste laag. (9).

Het grote voordeel van dit proces, in vergelijking met de andere oppervlaktebehandelingen is bovendien dat door deze hardingsmethode praktisch geen rest-spanningen ontstaan. Zodat het breukgevaar aanmerkelijk kleiner is dan bij de overige hardingsmethoden.

- Oplassen

Voor de verbetering van de standtijden werden diverse proeven opgezet. Bekeken is of met de diverse oplas-legeringen en methoden een verbetering van de standtijd te bereiken is.

In eerste instantie is nagegaan of het mogelijk is het oplasproces te veranderen, omdat bij de huidige methode de slijtvastheid van het materiaal begrensd is. Na het oplassen moet het materiaal nl. bewerkbaar zijn om de profilering aan te kunnen brengen.

Bekeken is of het mogelijk is de lasrupsen zodanig te leggen, dat de rupsen voor de profilering zorgen.

Tevens is nu veel harder en slijtvaster materiaal toe te passen waardoor men hogere standtijden kan bereiken. Ook is bekeken of het oplassen mogelijk is met behulp van electrode materiaal, dit bleek soms economisch erg moeilijk te zijn. Bovendien ontstonden soms veel haarscheuren bij het oplassen met dergelijke harde materialen.

Als conclusie kan men stellen dat de standtijd van de rollen verhoogd kan worden door een goede keuze van het electrode- of lasdraadmateriaal met ongeveer 20%.

De nieuwe oplasmethode geeft bovendien een kostenbesparing bij het oplasproces zelf.

Ad b. Constructieve wijzigingen

- Teneinde een hogere standtijd van de mantels te realiseren, is bekeken of het mogelijk is om de mantels op een andere wijze te construeren.

Hierbij is o.a. gedacht aan een mantel die uit elementjes is opgebouwd. Dit zou als grote voordeel bieden, een eenvoudige en snelle uitwisselbaarheid van de mantel alsmede de mogelijkheid de elementjes te vervaardigen met behulp van een gietproces.

Toepassing van het gietproces resulteert in een economisch produkt, ook geeft het de mogelijkheid zeer slijtvaste materialen toe te passen.

- Uit de bepaling van de optredende drukken volgt de drukberg volgens figuur 5.

De maximale drukken bleken erg hoog nl. 81.300 - 102.233 (KN/m²).

Bij een constructie volgens figuur 6, zal derhalve een grote radiale lekkage optreden, die onder andere een verhoogde slijtage aan de buitenkant van de rol veroorzaakt. figuur 7.

Deze ongewenste lekkage, alsmede de verhoogde slijtage aan de rol en de matrijs kan worden voorkomen door een

velgconstructie volgens figuur 8.

Een andere oplossing geeft een rol met een velg aan de buitenkant. figuur 9.

- Uit de bepaling van de invloed van de profilering op de rolafstand, bleek dat de riffels slechts voor een klein deel effectief zijn, doordat ze snel vollopen met meel.
Hierdoor vermindert het intrekvermogen van de pers, waardoor de capaciteit en de drukopbouw niet optimaal zullen zijn.
Aanbevolen wordt om de riefel zelflossend te maken, dit betekent dus een V- of een trapeziumuitvoering. Verder is het aan te bevelen de riffels steeds te zuiveren door middel van lucht of een borstelsysteem.

ad c. Afdichtingen

Zoals uit de storingsanalyse tabel 2 bleek, komen storingen bij de afdichtingen hoofdzakelijk voor bij de achterste oliekeerring.

De problemen waren veelal het gevolg van de hoge temperatuur of vervuiling van de ringen. Dit had een verharding van het rubber tot gevolg, waardoor ze stuk gingen. We bekeken derhalve de volgende modificaties: keerring uit een speciale hittebestendige rubbersoort, die niet verhardt of uitbrokkelt.

V-ringen de z.g. vitonringen.

Mechanical seals, dit is een metallieke afdichting.

Metallische afdichting d.m.v. zuigveren.

Voor de afdichting door middel van zuigveren gaf zeer goede resultaten.

3.4 Matrijzen

We merkten reeds op dat het vervangen van een matrijs bijna altijd het gevolg is van abrasieve slijtage aan het loopvlak. Door deze slijtage wordt de matrijs onbruikbaar, omdat ze op den duur niet meer instelbaar is, of omdat de perskanaaltjes wegslijten.

In de veevoeder industrie worden meestal hulpstoffen toegepast zoals bijvoorbeeld melasse, vet, stoom, etc.

Hierdoor vormt het meel vaak een zuur milieu, waardoor putvormige aantastingen in de perskanaaltjes ontstaan de z.g. pittingsverschijnselen.

Deze putvormige aantastingen verhogen de wrijvingsweerstand van de perskanaaltjes, waardoor de capaciteit en de abrasieve slijtage negatief wordt beïnvloed.

De matrijs is een kostbaar stukje precisiewerk en wordt meestal vervaardigd uit hoogwaardig gelegeerde staalsoorten.

Soms bevinden zich op de matrijs vertandingen voor de bevestiging aan de pers, deze vertandingen maken de matrijs extra duur.

Uit constructief oogpunt verdient het de voorkeur om de matrijs uit diverse delen op te bouwen.

Men kan nl. de functie van het slijtagegedeelte en het verstevigingsgedeelte splitsen door toepassing van verstevigingsringen.

Het grote voordeel hiervan is dat na gebruik alleen de middenring vervangen hoeft te worden.

Over de materiaalbehandeling van de matrijs is weinig bekend, omdat de fabrikanten hier geen informatie over verstrekken. Waarschijnlijk is de meest toegepaste hardingsmethode het inductieharderen.

Na het harden moet de matrijs ingedraaid worden om de vereiste gladheid te verkrijgen, hetgeen een kostbaar en tijdrovend proces is.

Toepassing van het Durni-Coat proces geeft hier erg goede resultaten.

Men kan een standtijdsverhoging van de matrijs verwachten van globaal 10%.

Ook geeft de verkregen laag een zeer goede oppervlakte gladheid, waardoor de matrijs veel sneller op de maximale capaciteit komt.

Bovendien heeft men geen of veel minder last van pittingsverschijnselen.

3.5 Abnormale overbelasting

Bij het voorgaande zijn we er van uitgegaan dat, bij het persen geen vreemde deeltjes zoals ijzer, stenen etc. in de persunit kwamen.

Uit de faalanalyse bleek echter dat een groot deel van de problemen te wijten is aan het voorkomen van ijzer in het meel. Aanbevolen wordt daarom, aandacht te besteden aan ongewenste delen in de persinloop.

Een andere oplossing voor dergelijke overbelastings-situaties is de verende rol.

De verende rol is in staat belasting-stoten op te nemen, bovendien heeft deze de mogelijkheid zich in te stellen op de optimale bedrijfsbelasting.

4. Bedrijfsvoering

De bedrijfsvoering is een belangrijk aspect van het persproces. Men dient hierbij de besproken parameters zoals: de belasting, instelling van de rollen, meelgeleiders, keuze van de matrijs, etc., zodanig af te stellen en onder controle te houden dat een optimale capaciteit en kwantiteit wordt verkregen.

Van belang hierbij is vooral ervaring en goede vakbekwaamheid. Het is daarom ook noodzakelijk over goede opleidings- en instructiemogelijkheden te beschikken.

Terecht kan men zich in dit verband de vraag stellen: "Persen een wetenschap of een kunst"?

4.1 De smering van de rollen

De krachtdoorleiding bij de korrelpers geschiedt door middel van de persrollen, zodat de rollagers zwaar belast worden. Deze belasting heeft meestal ook nog een pulserend karakter ten gevolge van de soms onregelmatige toevoer en verdeling van het meel. De rollagers werken bovendien in een vuile en hete omgeving. De temperatuur in de rol kan tijdens normaal bedrijf

oplopen tot $+ 120^{\circ}\text{C}$.

Een goede smering van de rollenlagers is dan ook van vitaal belang.

Het deel van de smering is meestal tweeërlei nl. verversen en aanvullen van oud vet en tevens het zuiveren van de oliekeerkringen van eventueel binnengedrongen meel.

Daarom is meestal een oliekeerring vetlozend en is de andere vetkerend gemonteerd.

Het zuiver houden van deze oliekeerringen is uitermate belangrijk omdat de ringen anders verharderen, waardoor ze stuk lopen. Uit de analyse van het faalgedrag bleek wel dat dit vervuilen een belangrijke storingsbron vormde.

Als hoofdzaak kan hiervoor een slechte afdichting of een onvoldoende smering worden genoemd.

Momenteel lopen enkele proeven met een speciaal soort vet, de zgn. life-smering.

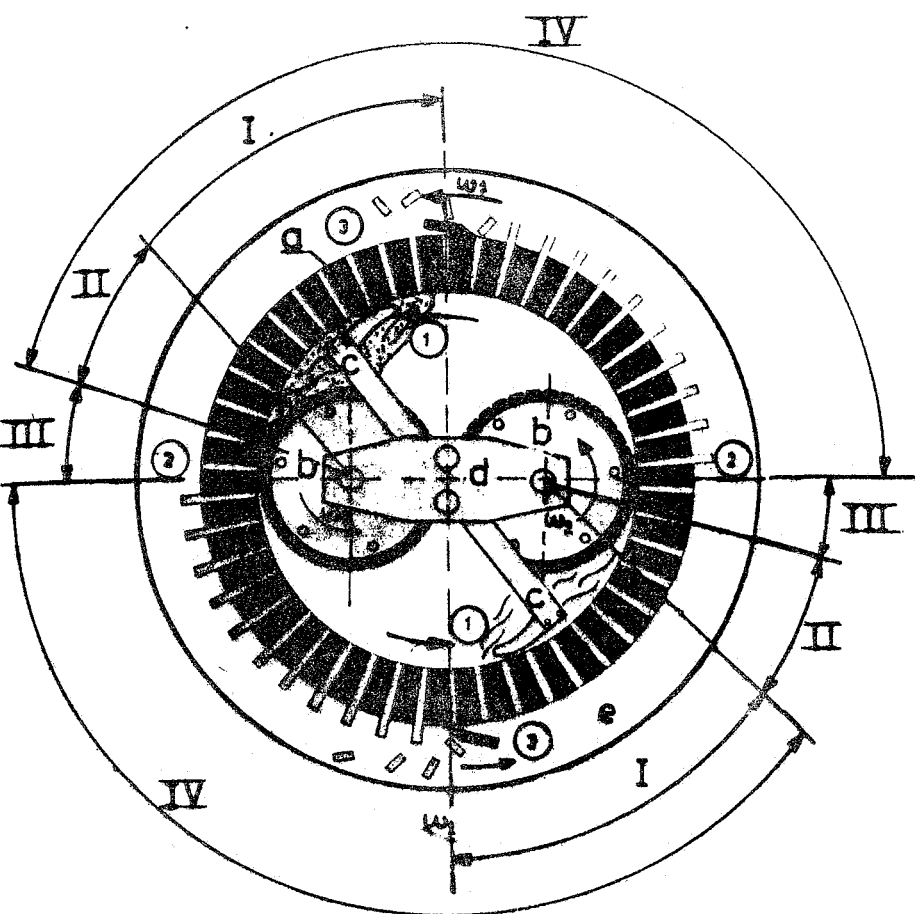
Het probleem hierbij is nog steeds de afdichting van de persrollen.

Bij de Cehave geschiedt de smering hoofdzakelijk met behulp van handsmering, beter is één automatische smeerinrichting.

4. Literatuurlijst

1. Pietsch, W. dr. ing. Die Bedeutung der Walzenkonstruktion von Brikettier-, Kompaktier- und Pelletiermaschinen für ihre technische Anwendung. Aufbereitungstechnik Nr. 3, 1970 p. 128.
2. Wittmann, A. dr. ing. Strangpressen in der Ring- und Scheibenmatrize. Aufbereitungstechnik nr. 7, 1962 p. 287-298.
3. Grudenau, H.W. Herstellung von Eisenerzpellets hoher Festigkeit. Aufbereitungstechnik nr. 4, 1978 p. 145-151.
4. Eppler, R., E. Händle und E. Kucher. Entwicklung der Kollergänge in der grosskeramischen Industrie. Aufbereitungstechnik nr. 2, 1977 p. 56-63.
5. Schilp, R. Zur Technologie der Pastengranulierung. Chem. - Ing. - Tech. 49 (1977) nr. 5 p. 374-380.
6. Rüssemeyer, H. dipl. ing. Ringmatrizenpresse bei der Blähton-aufbereitung. Aufbereitungstechnik nr. 11, 1971 p. 722.
7. Hutt, G.M.B.H. Kompaktieren, Brikettieren, Granulieren. Brochure van de firma Hutt G.m.b.H. D 7105; Leingarten - Heilbronn a.N. 1972.
8. Pietsch, W. dr. ing. Kornvergrößerung mit Walzenpressen, eine alte Technologie mit neuen Anwendungen. Aufbereitungstechnik nr. 3, 1976 p. 120-126.
9. Alu-Hart-Coat G.M.B.H., Oberflächentechnik, 5159 Kerpen Erft, Postfach 246, Boelckestrasze.

FIGUREN



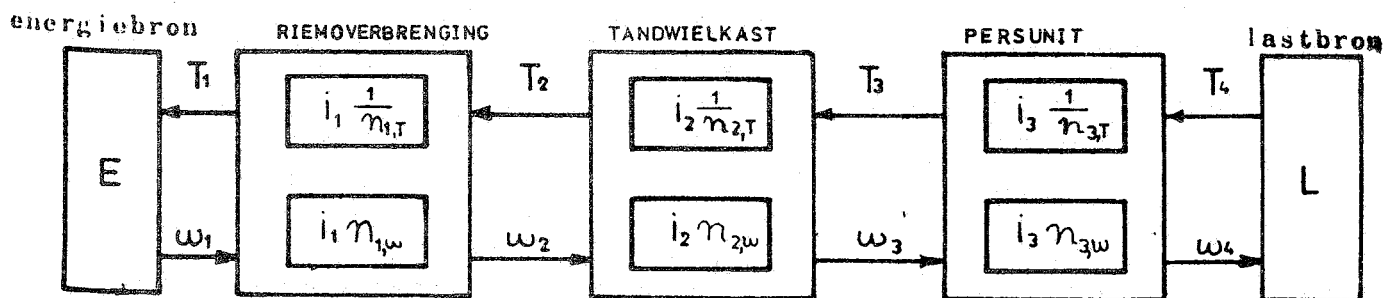
figuur 1.

Betekenis symbolen:

- I Produktintredezone
- II Produktverdelingszone
- III Compressie met doorzetfas
- IV Verblijfzone van de palle in de matrijs

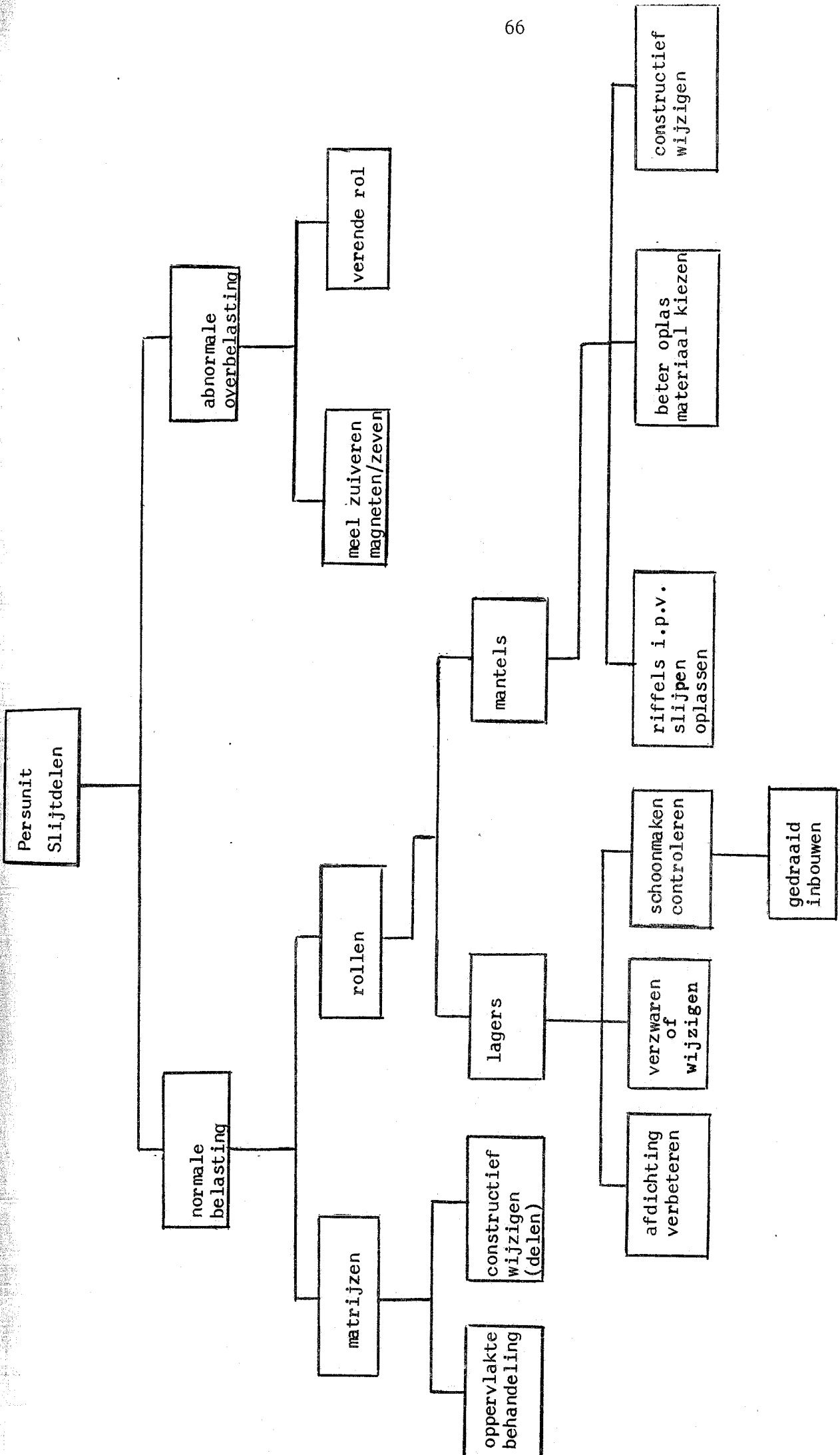
- a = matrijs
- b = persrol
- c = de meelgeleiders
- d = de rollenplaat
- e = meeneemplaet

1. Het toegevoerde bulkmateriaal wordt onder invloed van de gravitatie naar de pelletingkamer gevoerd.
2. Ten gevolge van de opgebouwde druk tussen de rol en de matrijs wordt het bulkmateriaal tot pellet gecompriemd.
3. Langs de omtrek opgestelde messen snijden de korrels op de gewenste lengte.
Vaak breken de korrels af onder invloed van de centrifugaalkracht.

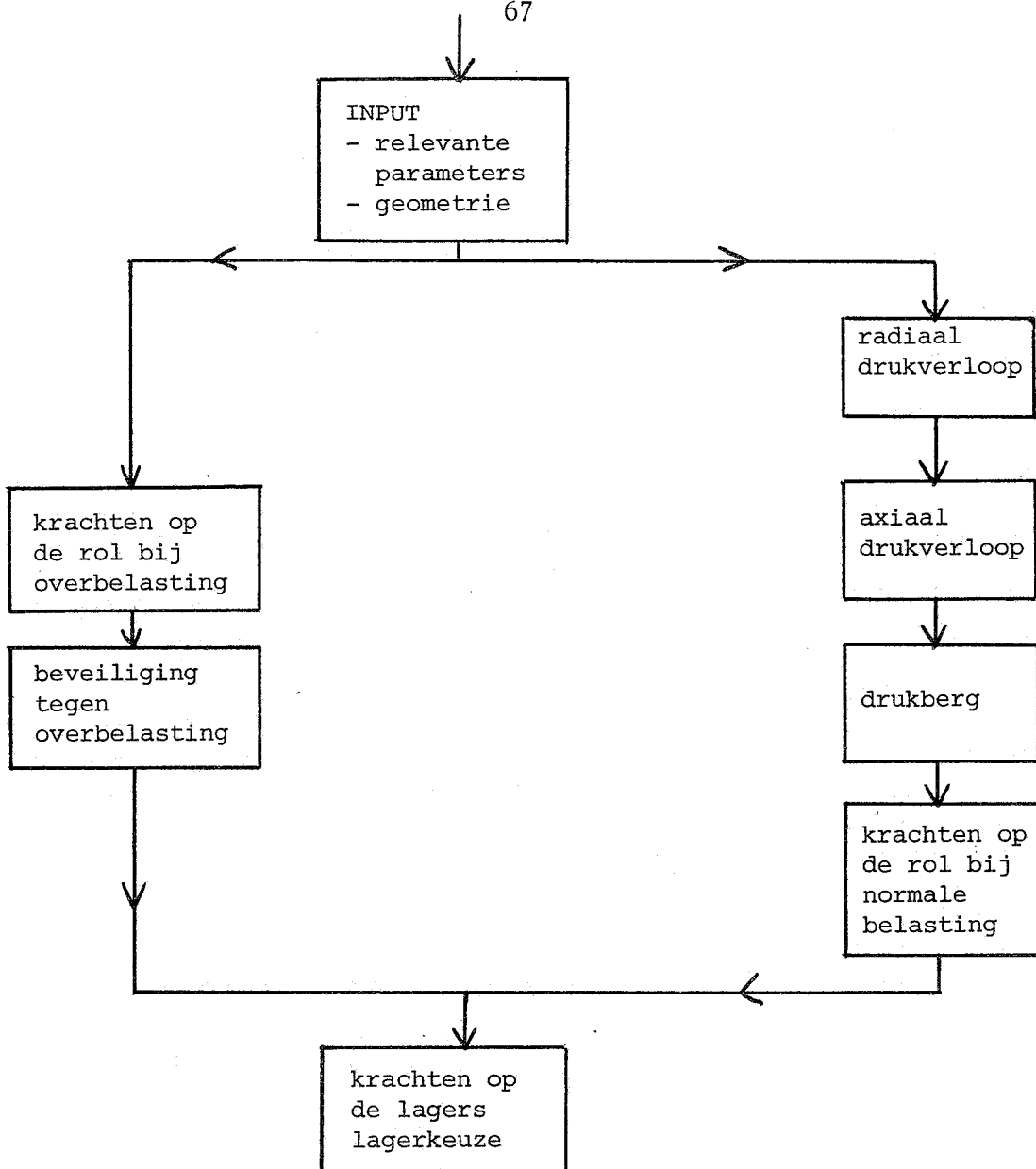


figuur 2

Schematische voorstelling van de aandrijving van de persunit.

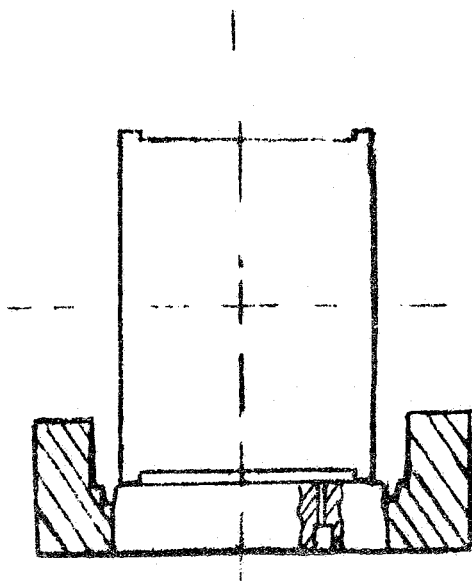


iguur 3. Schematische voorstelling van de diverse technische maatregelen ter verlaging van de onderhoudskosten.



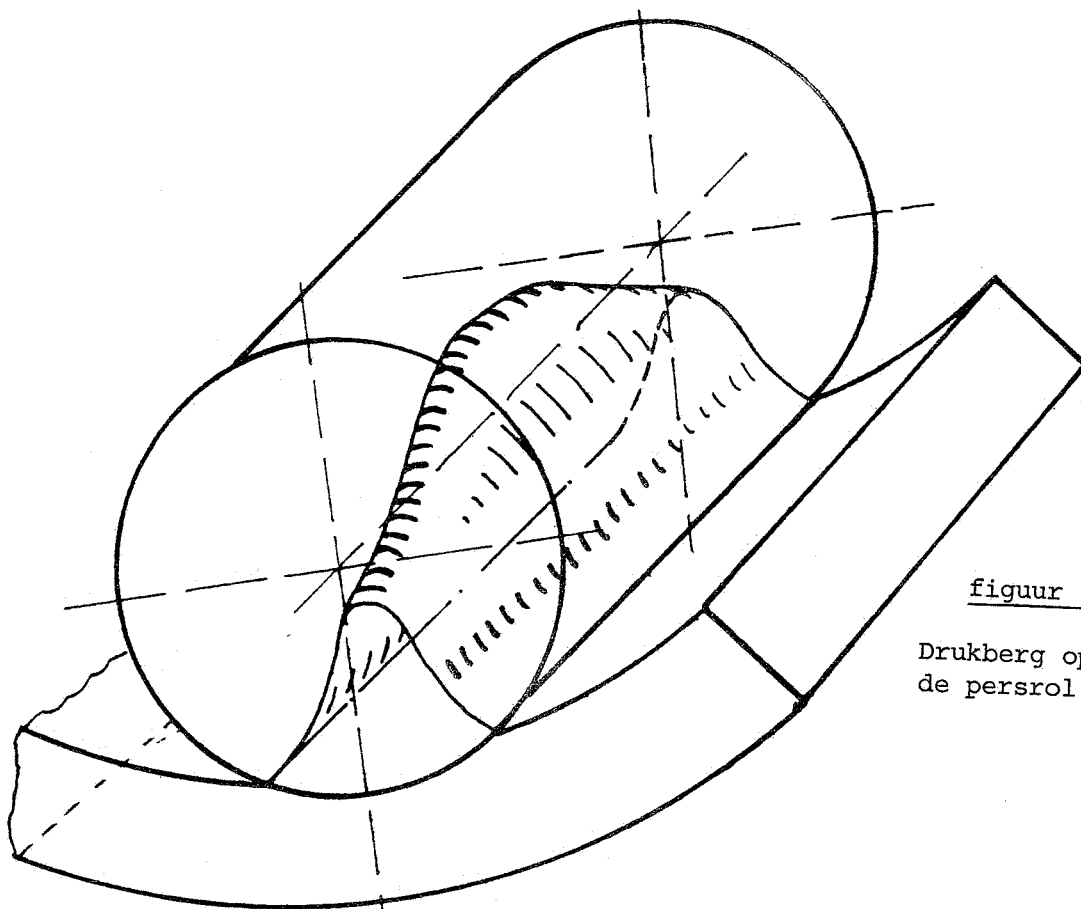
figuur 4

Berekeningsvolgorde bij de bepaling van de krachten op de lagers.



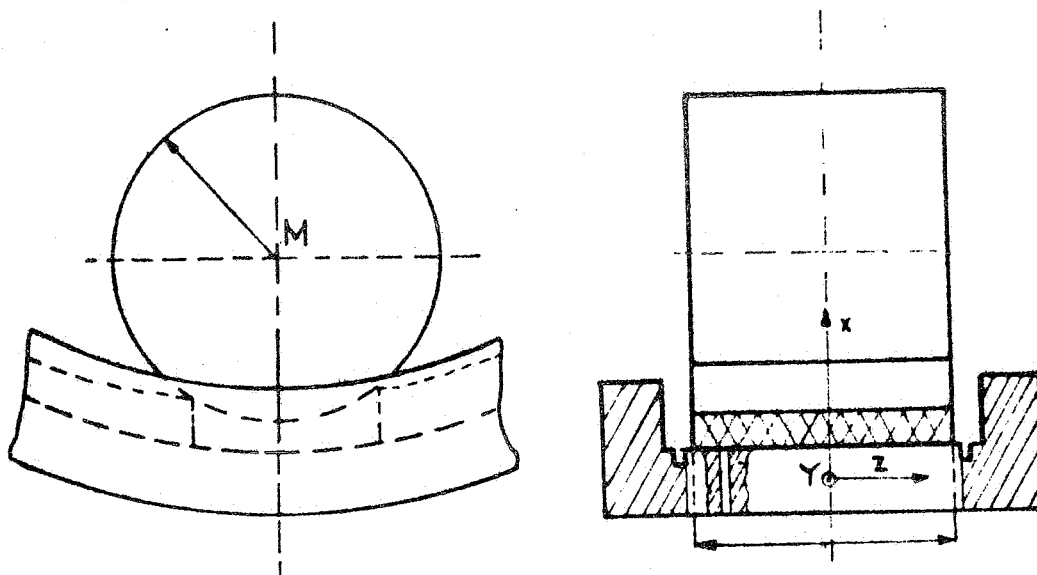
figuur 9

Rolconstructie met een velg aan de buitenkant voor een betere drukopbouw.



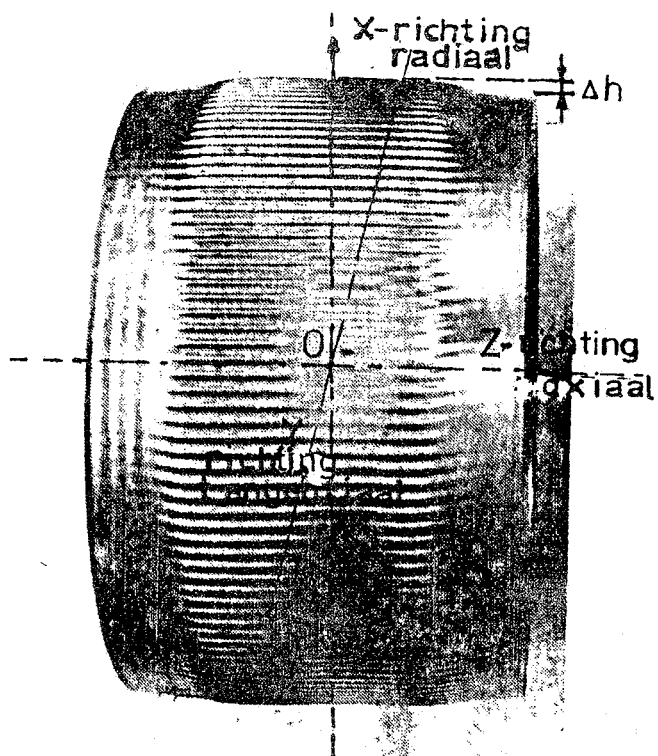
figuur 5

Drukberg op
de persrol.



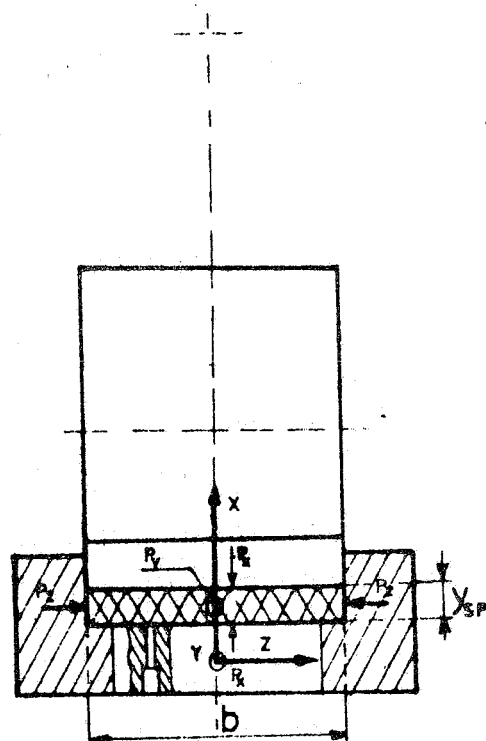
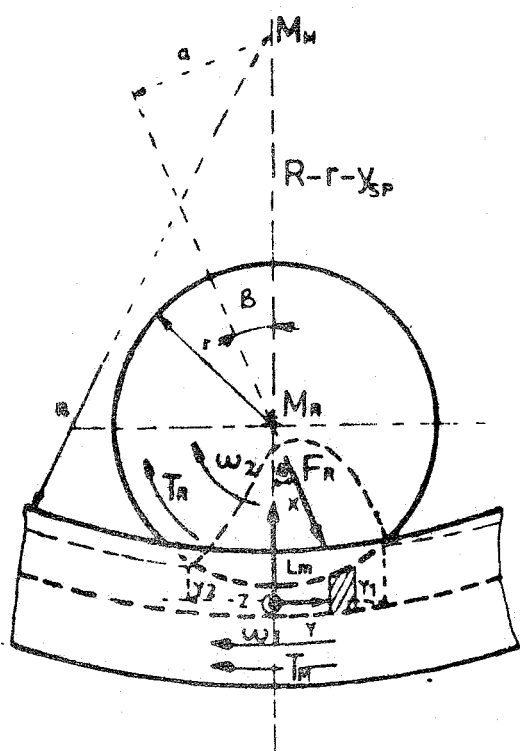
figuur 6

Schematische voorstelling
voor een vrije uitloopsituatie.



figuur 7.

Geeft een inzicht in het slijtageverloop over de folbreedte. De slijtage is maximaal aan de buitenzijde van de rol ten gevolge van de verhoogde abrasievelslijtage in de zijspleet.



figuur 8

Schematische voorstelling van de drukopbouw en de spanningstoestand bij een verhinderde uitloop van het materiaal.