

Servo-pneumatische positionersystemen : een inventarisatie

Citation for published version (APA):

Hilders, E. B. L. M., & Pekelder, S. (1995). *Servo-pneumatische positionersystemen : een inventarisatie*. (TU Eindhoven. Fac. Werktuigbouwkunde, Vakgroep WPA : rapporten). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1995

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.

Eindhoven University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Department of Production Engineering and Automation (WPA)

Servo-pneumatische positionersystemen
Een inventarisatie

E.B.L.M. Hilders
S. Pekelder

21-09-1995

WPA-2 1 0 0 4 2

Voorwoord

Pneumatiek komt in de basisopleiding aan de TUE nauwelijks aan de orde. Toch is het een belangrijk onderdeel van de productie-automatisering en het is jammer dat niet eens de basiskennis van de pneumatiek in het onderwijsprogramma is opgenomen. Door dit onderzoek hebben wij veel meer inzicht gekregen in het belang van pneumatiek en de opgedane kennis zal later zeker bruikbaar zijn.

Onze dank gaat uit naar Thea de Leeuw (secretariaat WPA) die ons ondersteunde bij de correspondentie. Ook Jean-Paul Vogels (Hoerbiger ORIGA Pneumatiek), die ons persoonlijk bezocht om informatie te verstrekken, willen wij bij deze bedanken. Zijn mondelinge toelichting droeg veel bij aan het begrip van de materie.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave	2
1. Inleiding	3
2. Ontwikkelingen in de servopneumatiek	
2.1 Inleiding	4
2.2 Cilinders	4
2.3 Wegmeetsystemen	5
2.4 Regelingen	6
2.5 Toekomst	7
3. Inventarisatie servopneumatische positioneersystemen	
3.1 Inleiding	8
3.2 Incrementele, digitale wegmeetsystemen	8
3.3 Absolute, analoge wegmeetsystemen	8
3.4 De hydro-pneumatische cilinder	9
3.5 Het geïntegreerde positioneersysteem	9
3.6 Tabel met specificaties	11
3.7 Toelichting bij de tabel	12
3.7.1 Afdichting	12
3.7.2 Belastbaarheid en kracht	12
3.7.3 Besturing en nauwkeurigheid	13
3.7.4 Snelheid	13
4. Conclusies en aanbevelingen	14
Literatuur	15
Bijlagen: beschrijving van de systemen per fabrikant	16

1. Inleiding

Voor het flexibel positioneren van discrete produkten worden meestal elektrische systemen toegepast vanwege hun hoge snelheid en nauwkeurigheid. Er is echter een alternatief, namelijk het pneumatische positioneersysteem. Het doel van dit literatuuronderzoek is het inventariseren van de systemen die momenteel verkrijgbaar zijn. De prestaties van deze systemen op het gebied van o.a. nauwkeurigheid, besturing, snelheid, prijs, inbouwruimte en onderhoud worden onderzocht. Aanbevelingen worden gedaan in het laatste hoofdstuk.

Als aanname voor de te behalen positioneringsnauwkeurigheid worden twee categorieën aangehouden:

- 0.5 - 0.1 mm. (topklasse systemen)
- 2.0 - 0.5 mm. (normale systemen)

Voor zover de massa van invloed is wordt daarvoor een maximum van 10 kg. aangehouden. De snelheid van de bewegingen moet in de orde van grootte liggen vergelijkbaar met elektrische systemen. Omdat toepassing wellicht in de voedingsmiddelenindustrie zal plaatsvinden is het toevoegen van olienevel aan de lucht ongewenst.

In het begin van het onderzoek zijn de diverse CD-ROM bestanden, Compendex, Inspec, Current Contents (ENG,COMP&TECH) en Science Citation Index geraadpleegd. Dit resulteerde in slechts enkele bruikbare artikelen. De gevonden artikelen hadden vooral betrekking op experimenteel onderzoek naar regelconcepten voor pneumatische cilinders. Praktische toepassingen werden nauwelijks vermeld. Daarom was de volgende stap het Product Informatie Centrum op de TUE. Daar was veel informatie voorradig. Bedrijven die pneumatische servo-systemen leveren zijn gebeld en gefaxt. De door deze bedrijven toegezonden documentatie vormt de voornaamste basis van dit onderzoek. Ook door bladeren in praktische vakbladen is informatie verkregen. Via Internet bleek geen bruikbare informatie te kunnen worden verkregen.

Het is duidelijk dat wij niet iedere leverancier op het gebied van servo-pneumatiek hebben kunnen benaderen en dat de door ons gebruikte informatie vooral uit reclamemateriaal afkomstig is. Het onderzoek is daarom niet volledig, maar geeft naar ons inzicht een representatief beeld van de huidige mogelijkheden op het gebied van pneumatisch positioneren.

2. Ontwikkelingen in de servopneumatiek

2.1 Inleiding

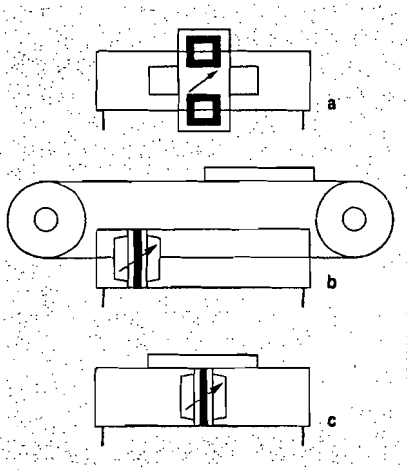
De beslissing om pneumatisch of electromechanisch te positioneren hangt van een groot aantal zaken af. Een pneumatisch systeem is minder gecompliceerd, is snel, compact en eenvoudiger te monteren [1,2,3,5]. De compacte, lichte bouw is de reden dat robotgrijpers vaak pneumatisch worden uitgevoerd. Veelal is een pneumatisch systeem, bij dezelfde (niet te strenge) eisen, goedkoper. Elektrische systemen kunnen sneller en nauwkeuriger positioneren en bieden de mogelijkheid om bewegingen op elkaar af te stemmen, iets wat met pneumatische systemen veel moeilijker is. Het programmeren van posities, snelheden en versnellingen is eenvoudiger bij elektrische systemen. Toch kan in het algemeen gesteld worden dat bij verplaatsingen van punt naar punt op 0.1 mm nauwkeurig een pneumatisch systeem goedkoper is [2].

De ontwikkelingen op het gebied van pneumatisch positioneren zijn onder te verdelen in een aantal gebieden. Allereerst de ontwikkeling van betere zuigerstangloze cilinders, welke vooral geschikt zijn voor toepassing in positioneersystemen. Verder de ontwikkeling van nieuwe en nauwkeuriger meetsystemen voor het bepalen van de positie van de zuiger. Als laatste is er bij de regeling van de positionering veel vooruitgang te bespeuren.

2.2 Cilinders

Hoewel er bedrijven zijn die pneumatisch positioneren met een dubbelwerkende cilinder met zuigerstang, geven veel bedrijven de voorkeur aan zuigerstangloze cilinders. Bij deze cilinders is het oppervlak aan beide zijden van de cilinder gelijk hetgeen de regeling eenvoudiger maakt. De zuigerstangloze cilinders hebben verder een lengte die maar iets meer is dan de slaglengte, ze kunnen geringe dwarskrachten en momenten opnemen en zijn eenvoudiger te voorzien van geleidingen. In sommige gevallen kunnen ze als integraal onderdeel van de constructie gebruikt worden [3,5].

Er zijn drie verschillende typen zuigerstangloze cilinders:



- Magneetcilinder:* de zuiger bestaat uit een magneet die de loopwagen aan de buitenkant van de cilinderbuis meeneemt d.m.v. magnetische koppeling.
- Band- en kabelcilinder:* de loopwagen wordt voortbewogen door een band of kabel die via omloopwielen verbonden is met de zuiger.
- Shuttle-cilinder:* de loopwagen en de zuiger zijn mechanisch gekoppeld en de spleet in de cilinder wordt afgedicht d.m.v. een speciale band.

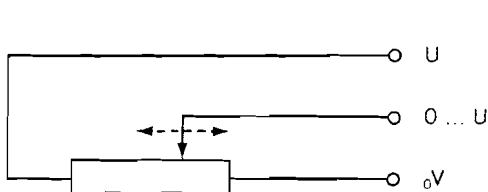
Vooral de shuttle-cilinder wordt door fabricanten gebruikt voor positioneersystemen vanwege zijn compacte bouw, die zich goed leent voor het aanbouwen van geleidingen en meetsystemen [1,4]. Ook de bandcilinder en de magneetcilinder worden gebruikt. Van de bandcilinder kan als nadeel de hogere lekkage worden genoemd, alsmede de beperking van de krachtoverdracht a.g.v. de beperkte dikte van de band [1,4,5]. Voor de magneetcilinder geldt dat deze van een geleiding voorzien moet zijn tegen verdraaiing en dat een ondersteuning van langere cilinders niet mogelijk is. Het mogelijke losbreken van de magnetische koppeling wordt soms als een beperking gezien, soms als een extra veiligheid [1].

De afdichting van de cilinders tegen lekkage en vuil vormt een probleem. Het gepatenteerde systeem van *ORIGA*, waarbij stalen strips op hun plaats worden gehouden door magneetstrips in de cilinder, zorgt voor een goede afdichting. Het systeem kan in een willekeurige positie, zelfs ondersteboven, worden toegepast. Ook over grote lengte voldoet het systeem goed. Andere fabrikanten gebruiken rubberen strips als afdichting die in veel gevallen evengoed voldoen. Een nadeel is de hogere wrijving en de hogere basisdruk die aanwezig moet zijn voor een goede afdichting. Het doorhangen van de afdichtingsstrip bij grotere lengten kan tevens een probleem vormen. Magneetcilinders kennen dit probleem niet daar de dunwandige cilinder geheel gesloten is.

Een van de grote beperkingen voor de nauwkeurigheid van pneumatische cilinders is het stick-slip effect [4]. Veel onderzoek is erop gericht dit te verminderen, o.a. door teflon afdichtingen en speciaal vet. Door gebruik te maken van de elastische vervorming van de afdichtingen van de zuiger is men in staat een stilstaande zuiger nog te verplaatsen waarbij de positioneer-nauwkeurigheid op kan lopen tot $1 \mu\text{m}$ (hierbij moet de zuiger eerst tot op $0,02 \text{ mm}$ glijdend zijn gepositioneerd) [4].

2.3 Wegmeetsystemen

Er zijn drie verschillende systemen te onderscheiden [2,4]:

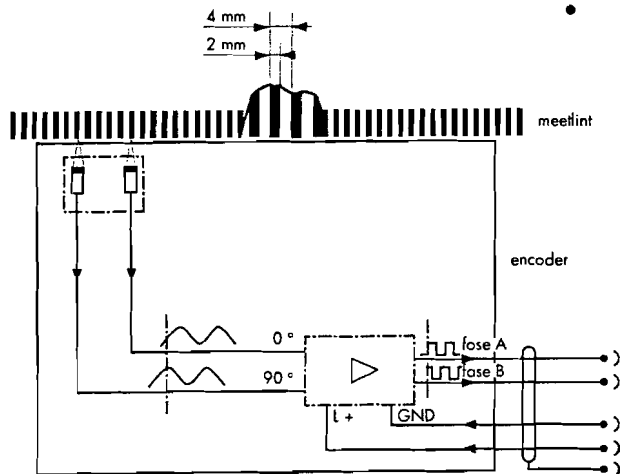


- *Potentiaalmeting*, waarbij een lineaire weerstand als spanningsdeler wordt gebruikt, hetgeen een absoluut signaal oplevert. De niet-lineariteit van de weerstanden is minder dan 0,5% en de prijs is laag.

Bij de toepassing in digitale regelsystemen is het aantal bits van de AD-converter van belang voor de te behalen nauwkeurigheid (1 meter in 12 bits levert stapjes op van $0,244 \text{ mm}$). Bij het gebruik van een analoge regeling bestaat dit probleem niet. Analoge regelingen zijn echter zeldzaam.

Meestal wordt het systeem uitgevoerd als een losse lineaal die naast (of onder) de cilinder geplaatst kan worden. Een aantal fabrikanten heeft de lineaal echter in de cilinder ingebouwd.

- *Impulsmeting*, waarbij d.m.v. de looptijd van een electromagnetische impuls de afstand wordt bepaald. Het levert een absoluut signaal op met een oplossend vermogen van $10\mu\text{m}$. Ook dit signaal kan door een AD-converter in stapjes worden opgedeeld. Dit systeem kan gemakkelijk in de cilinder worden gebouwd en is dan minder kwetsbaar.



- *Incrementmeting*, waarbij streepjes op een lineaal door een leeskop worden geteld. Deze streepjes kunnen zijn gedrukt of geëtst, waarbij ze m.b.v. een lichtsignaal worden geteld. Er bestaat ook een variant die werkt met magnetische streepjes. Het is tevens mogelijk om via een tandriem en een roterende signaalgever de positie te bepalen. Een nadeel is hierbij het mogelijk optreden van slip en rek in de band waardoor dit een minder nauwkeurig systeem is.

Bij het gebruik van (dure) glaslinealen en veel electronica kan het oplossend vermogen oplopen tot minder dan $1\mu\text{m}$. Er worden echter ook goedkopere linealen gebruikt waarbij het oplossend vermogen veel slechter is.

Van de potentiaal- en de incrementmeting zijn wij veel voorbeelden tegengekomen, van de impulsmeting één.

2.4 Regelingen

Een van de grootste problemen bij de besturing van pneumatische positionersystemen is de modelvorming. Lineaire modellen zijn slechts zeer beperkt geldig en voor exacte modelering is men afhankelijk van numerieke simulaties om niet-lineariteiten de baas te kunnen. Het gebruik van simpele PID-regelaars is niet goed mogelijk omdat bij zwakke instellingen reeds slingeren optreden als gevolg van de geringe demping in het aandrijfsysteem [4].

Over het algemeen gebruikt men regelingen met positie-, snelheids- en versnellingsterugkoppeling. Het meten van het drukverschil over de zuiger zou ook meegenomen kunnen worden, echter dit is niet nauwkeurig genoeg en kost meer i.v.m. de extra sensor. Bij de drielusregeling wordt de niet-lineariteit van het ventiel buiten beschouwing gelaten. D.m.v. poolplaatsing wordt het gewenste regelgedrag verkregen.

Bij de niet-lineaire positierегeling worden de niet-lineaire effecten van stromingsweerstand, dichtheidsveranderingen en de wrijvingskarakteristiek gecompenseerd door niet-lineaire elementen in de regelkringen zoals schakelende integratoren en parameters die aangepast worden aan de snelheid, de positie-afwijking of de lastmassa.

Bij adaptieve regeling worden de regelparameters aangepast aan veranderende bedrijfsomstandigheden. Wanneer mathematische relaties tussen de bedrijfsomstandigheden en de parameters bestaan spreekt men van gestuurde adaptive control. Geregelde adaptive control daarentegen gaat uit van langzaam veranderende bedrijfsomstandigheden en stelt zelf

de regelparameters bij. Hierbij moet men denken aan veranderende wrijving door slijtage e.d.. Adaptive control kan uitgevoerd worden als een drielusregeling met parameteraanpassing d.m.v. Fuzzy Logic.

Ook wordt veel onderzoek gedaan naar andere regelconcepten maar de resultaten daarvan zijn nog niet zodanig dat ze toepasbaar zijn in een industriële omgeving.

Een onderdeel van de regeling waarin ook nogal wat ontwikkeling zit zijn de servoventielen. Deze worden steeds kleiner en sneller, waarbij vooral gelet wordt op hun energieverbruik en schakeltijd. Het toepassen van piëzo-ventielen wordt op dit moment onderzocht. Deze maken het mogelijk snel te schakelen met een energieverbruik van enkele milliWatts, tegen normale ventielen van enkele Watts. Het aanleggen van extra stroomleidingen voor ventielen kan dan achterwege gelaten worden.

2.5 Toekomst

De toekomst voor pneumatisch positioneren lijkt gunstig. Cilinders worden steeds goedkoper en gaan langer mee [1,3]. Ook de servo-regelventielen dalen in prijs en worden sneller zodat de regeling geavanceerder kan worden. Door de ontwikkelingen in de micro-electronica worden besturingen sneller en kunnen complexere regelstrategieën worden toegepast waardoor de mogelijkheden van het gebruik van pneumatisch positioneren toenemen. Het beschikbaar komen van betaalbare 32-bits kaarten zal het mogelijk maken om op basis van potentiaal-wegmeetsystemen een goedkoop en zeer nauwkeurig positiemeetsysteem aan te bieden.

Het pneumatisch positioneren dient zich steeds meer aan als geduchte concurrent van het electro-mechanisch positioneren. Bedrijven krijgen meer inzicht in wat mogelijk is met deze systemen en passen ze steeds vaker toe. Dit levert een voortdurende impuls voor ontwikkelingen op dit gebied.

3. Inventarisatie positionersystemen

3.1 Inleiding

Er zijn verschillende pneumatische positionersystemen in de handel, die principieel op een andere manier te werk gaan. Hieronder zullen de verschillende mogelijkheden worden beschreven, waarna in tabelvorm de belangrijkste specificaties van beschikbare systemen worden weergegeven.

3.2 Incrementele, digitale wegmeetsystemen

Hierbij wordt gebruikt gemaakt van een optisch systeem dat pulsen telt. *ORIGA* gebruikt een flexibele plastic band met 2 mm. brede strepen. Het leesapparaat gebruikt twee optische sensoren, waarmee de positie op 1 mm. nauwkeurig kan worden bepaald. De snelheid van de impulsteller is hier een beperking voor de maximale cilindersnelheid (bij een snelheid van bijvoorbeeld 5 m/sec moet deze kunnen tellen met een frequentie van 5 kHz.). De beweging stopt m.b.v. drukregeling. Met een pneumatische rem kan de cilinder nog sneller worden gestopt.

3.3 Absolute, analoge wegmeetsystemen

Voor het bepalen van de positie kan ook een analoog systeem worden toegepast. *FESTO* en *ORIGA* gebruiken een lineaire potentiometer. De door het sleepcontact afgegeven spanning (0-10 V) wordt door een AD-omzetter vertaald in een digitale positie (0-100 %) in stappen die wat grootte betreft afhankelijk zijn van het aantal bits dat wordt gebruikt. De huidige positie is hiermee bekend, het regelen van deze positie en de weg naar de nieuwe positie zal door de gebruiker zelf moeten gebeuren.

De Bimba Position Feedback Cylinder van *ASTRO Controls B.V.* maakt gebruik van een cilinder met ingebouwde potentiometer. Deze bevindt zich in de zuigerstang. In de cilinderkop zit het sleepcontact.

De nauwkeurigheid van deze systemen hangt af van een drietal factoren

- *Resolutie*: de kleinste positieverandering die door de potentiometer kan worden gedetecteerd. De electronica (aantal bits) is de beperkende factor. Uiteraard is de resolutie afhankelijk van de slag: hoe groter de slag hoe kleiner de resolutie.
- *Lineariteit*: de maximale afwijking van het output voltage van een rechte lijn.
- *Herhalingsnauwkeurigheid*: de mate waarin de potentiometer dezelfde output geeft bij dezelfde cilinderpositie bij herhaalde positionering.

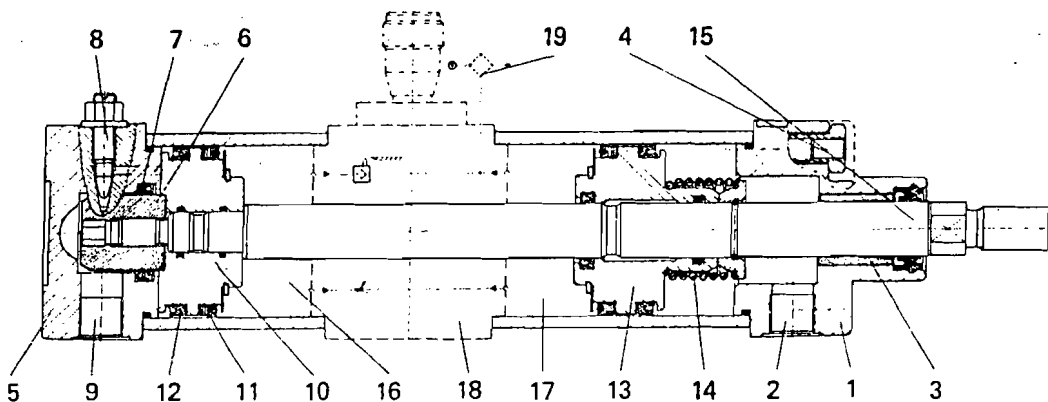
Ook analoog maar principieel verschillend werkt de Cylinder Positioner IP200 van *SMC*

Controls B.V.. Deze wordt gestuurd met een pneumatisch signaal (0.2-1.0 bar, 0-100% cilinderuitslag). Met deze stuurdruk wordt een regelventiel geopend. De positie wordt teruggekoppeld d.m.v. een veer die uitgerekt wordt bij het uitschuiven van de cilinderstang. Bij het bereiken van de juiste stand is de veerkracht gelijk aan de kracht die door de stuurdruk wordt uitgeoefend. Het regelventiel staat dan in de neutrale stand. De regeling d.m.v. een 5/3-ventiel is op de cilinder gebouwd. De *Martonair* integrale servocilinders M/1525 en M/1540 werken op dezelfde manier.

3.4 De hydro-pneumatische cilinder

De cilinder van *Specken/Drumag* is een integratie van een pneumatische cilinder en een olieremcilinder. D.m.v. olie tussen de twee zuigers wordt de beweging van de cilinderstang gecontroleerd. In het midden van de cilinder zit een regelblok met kanaaltjes. Bij het verplaatsen van de zuigers moet olie van de ene zijde van het regelblok naar de andere stromen. De snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van de instelling van de regelkleppen in het blok. Hierdoor kan zeer nauwkeurig de cilindersnelheid geregeld worden. De bediening van de regelkleppen kan mechanisch of pneumatisch geschieden. Om het systeem te kunnen gebruiken als positioneersysteem moet een positiemeetsysteem aangebracht worden dat bij het bereiken van de gewenste stand de werkdruk van de cilinder af haalt. Door de olieremming stopt de cilinder dan binnen 0,1 mm.

De werklucht moet voorzien zijn van een olienevel en er treedt altijd enige lek op vanuit het oliegedeelte naar buiten toe. Hierdoor kan een toepassing in de voedings- en genotmiddelenindustrie uitgesloten zijn.

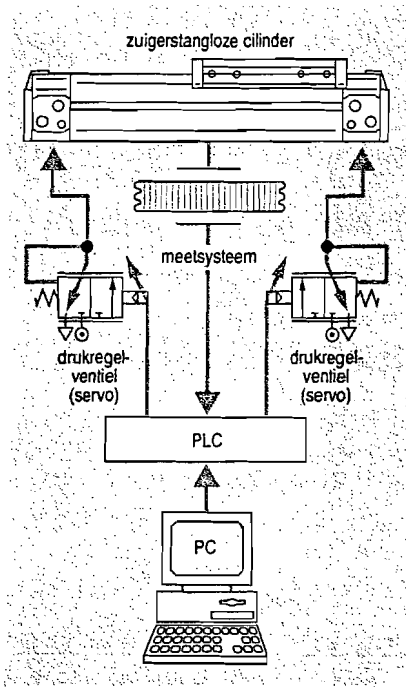


1 cilinderdeksel, 2 persluchtaansluiting, 3 zuigerstanglager, 4 bevestigingspunt, 5 cilinderbodem, 6 buffer, 7 afdichting in bufferruimte, 8 stelschroef voor buffering, 9 persluchtaansluiting, 10 zuiger (a), 11 en 12 afdichtingen, 13 zuiger (b), 14 lekcompensatieveer, 15 zuigerstang, 16 en 17 olieruimte, 18 regelblok, 19 lekcompensatiesysteem.

3.5 Het geïntegreerde positioneersysteem.

Bij het servopneumatisch positioneersysteem van *FESTO* wordt een 5/3-ventiel aangestuurd door de besturing. Hiermee wordt een standaard zuigerstangloze cilinder van lucht voorzien.

Een extern positiemeetsysteem (analoog of digitaal) zorgt voor de terugkoppeling van de positie-informatie naar de besturing. Voor het programmeren en gebruiken van het systeem is de speciale PISA software ontwikkeld.



ASTRO levert de CYTEC positioneercilinder. Deze cilinder met zuigerstang maakt gebruik van een analoog wegmeetsysteem en stuurventielen. De besturing geschiedt met een regelkaart die eventueel ondergeschikt aan een ander regelsysteem kan worden gesteld. De gewenste posities kunnen softwarematig worden ingegeven. Een remventiel treedt, afhankelijk van de bewegingssnelheid, ruim voor de te bereiken positie in werking. Hierdoor kan een hoge positioneer-nauwkeurigheid worden bereikt.

Het SERVOTEC positioneersysteem wordt geleverd door ORIGA. Het bestaat uit een zuigerstangloze cilinder met stalen afdichtingsstrips, een analoog meetsysteem, twee servoverventielen en een besturingseenheid. Bij de standaard besturingseenheid kan de gewenste positie worden opgegeven (0-10 V DC of 0-20 mA), waarna er bij het bereiken van die positie (met een nauwkeurigheid die is op te geven) een signaal wordt afgegeven. Er kan een rem gebruikt worden, waarbij bij het aanslaan van de rem de regeling ophoudt met regelen.

Rexroth Mecman levert 2 systemen. Het topmodel LA maakt gebruik van een bandcilinder, twee servoverventielen in de eind-deksels, een pneumatische rem en een absoluut wegmeetsysteem. De besturing kan door iedere PLC geschieden. Model LP werkt op dezelfde manier, maar is kwalitatief minder.

3.6 Tabel met specificaties

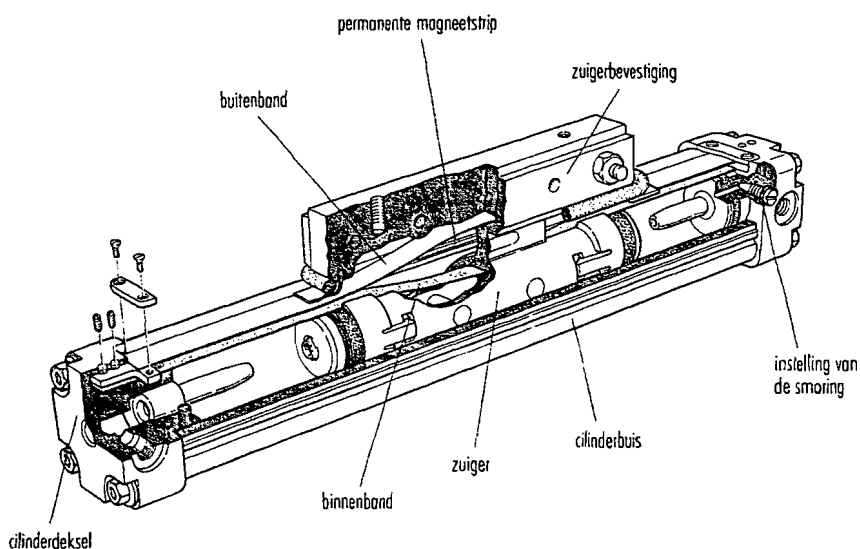
LEVERANCIER	MERK	TYPENUMMER	OMSCHRIJVING	SLAGLENGTE (mm)	BORING (mm)	BELASTBAARHEID (kg)	KRACHT (N)	NAUWKEURIGHEID (mm)	TEMPERATUUR-BEREIK (°C)	SNELHEID (m/sec)
1. FESTO PNEUMATIC	FESTO	Diversen	Zuigerstangloze cilinder, meetlineaal, bestuurd door 5/3 ventiel en regeling	200 - 2000	25 - 63	?	200 - 1.200	0,2 - 0,5 (afhankelijk van de snelheid)	0 tot 50	1 (i.v.m. olienevel)
2. ASTRO CONTROLS B.V.	CYTEC	PP40 (i.s.m. EP8)	Dubbelwerkende cilinder, geïntegreerd analog meetsysteem, stuurventielen en regelkaart	150 - 900	Uit: 1000 mm ² In: 765 mm ²	•	?	0,1	?	?
	BIMBA	PFC...	Dubbelwerkende cilinder met ingebouwde lineaire potentiometer, losse regeling	25 - 610	27 - 76	•	13 tot 102 * druk (bar)	0,01 (afhankelijk van de besturing)	-20 tot 70	1,25
3. HOERBIGER/ORIGA	ORIGA-sensoflex	SFI	Incrementeel meetsysteem met een flexibele band met streepjes en een leeskop	Afh. van cilinder	10 - 80	2 - 200 Afh. van uitvoering cilinder (boring, geleiding)	32 - 2.600	1	-20 tot 80	10 (Afh. van teller-frequentie)
		SFA	Analoog meetsysteem met potentiometer	4000	10 - 80	2 - 200 Afh. van uitvoering cilinder (boring, geleiding)	32 - 2.600	0,01 (afhankelijk van de besturing)	-20 tot 80	5
	ORIGA-servoflex		Compleet systeem met cilinder, meetsysteem, ventielen en besturing	4000	(16) 25 en 32	30 - 200	250 - 820	0,1	0 tot 50	2,5
4. SEMPRESS B.V.	SEMPRESS	S-LINA	Combinatie van dubbelwerkende cilinder met analoge verplaatsingsopnemer en besturing	150 - 400	40 - 80	•	Snelheidsafhankelijk	1,0 - 2,3 Afh. van diameter ventiel (snelheid) en boring	-10 tot 70	0,04 - 0,5
5. NORGREN MARTONAIR	MARTONAIR	M/1525 en M/1540	D.m.v. een instelbare stuurdruk wordt een 5/3 ventiel aangestuurd dat voor de gewenste verplaatsing zorgt	75 - 125 - 200	63 - 102	•	300 - 4.000	1% van de slag	-5 tot 80	?
6. SMC CONTROLS B.V.	SMC	IP200	Pneumatisch geregelde dubbelwerkende cilinder	25 - 300	50 - 300	•	?	1% van de slag	-5 tot 60	0,05
7. HYDRAUDYNE PNEUMATIEK B.V.	Rexroth Mecman	LA 85	Bandcilinder geïntegreerd met incrementeel wegmeetsysteem en servventielen	0 - 1.500	25 - 30	15 (verticaal) 22 (horizontaal)	220 - 320	0,01	?	3,5
		LP	Als LA 85	0 - 100	25 - 50	12 tot 100	240 - 1.000	0,2	0 tot 45	2
8. TER HORST B.V.	Specken/ Drumag	HPE	Integratie van pneumatische cilinder en olieremcilinder	? (< helft van de totale lengte)	50 - 80	•	1.800	0,1	15 tot 80	3

3.7 Toelichting bij de tabel

Als aanvulling op de gegevens in de tabel volgen hier nog enkele kanttekeningen bij de belangrijkste specificaties. Omdat de prijs zeer sterk varieert met de cilinderboring en -lengte is deze niet opgenomen in de tabel. Specificaties die niet van toepassing zijn op de betreffende cilinder zijn aangegeven met een •.

3.7.1 Afdichting

De afdichting met stalen banden en magneetstrips die *ORIGA* toepast is goed lekvrij en bestand tegen vuil. De buitenste afdichtstrip dient alleen om vuil buiten de cilinder te houden, de binnenste afdichtstrip zorgt dat de lucht in de cilinder blijft.



De magneetcilinders van *FESTO* zijn volledig afgedicht tegen vuil in de cilinder, maar er kan wel vuil tussen cilinderbuis en loopwagen komen. De shuttlecilinders maken gebruik van kunststof afdichtingen, die een kortere levensduur hebben dan de stalen banden van *ORIGA*. De bandcilinder van *Rexroth Mecman* heeft alleen afdichtingen bij de doorgangen van de trekbanden.

De cilinders van *CYTEC*, *Sempress*, *Martonair* en *SMC* hebben gewone zuigerstangen. Vooral het schoon houden van de zuigerstang is dan van belang.

Bij de hydropneumatische cilinder van *Specken/Drumag* heeft men moeite de olie goed van de lucht gescheiden te houden.

3.7.2 Belastbaarheid en kracht

Met belastbaarheid wordt bedoeld de massa die maximaal op de loopwagen kan worden

gezet. Dit is alleen van toepassing bij zuigerstangloze cilinders. De kolom kracht geeft aan hoeveel drukkracht de cilinder maximaal kan leveren.

De shuttlecilinder van *ORIGA* is goed in staat om dwarskrachten en momenten op te nemen. Bij de magneetcilinders van *FESTO* is hiervoor een extra langsgleiding noodzakelijk, omdat voor goede magneetkoppeling een zeer dunwandige buis moet worden toegepast. Hier is bovendien de kans op losbreken aanwezig, hoewel deze zeer gering is.

Verticale opstelling van het *ORIGA* systeem is geen probleem: een pneumatische rem houdt de loopwagen op zijn plaats. De ventielen schakelen dermate snel, dat bij doorbewegen omhoog geen zakking zal optreden.

Een aantal fabrikanten leveren dubbelwerkende cilinders met zuigerstang. Daarbij is een loopvlak nodig waarover het produkt beweegt.

3.7.3 Besturing en nauwkeurigheid

Van een aantal cilinders (*FESTO*, *ORIGA-Servoflex*, *CYTEC*, *Rexroth Mecman*) is in de tabel de nauwkeurigheid vermeld die wordt opgegeven voor de combinatie van de cilinder met een door dezelfde fabrikant geleverde besturing. Van andere cilinders is echter de nauwkeurigheid aangegeven die door de fabrikant geclaimd wordt, maar waarbij de besturing door de afnemer zelf verzorgd dient te worden.

3.7.4 Snelheid

Een cilinder moet gesmeerd worden om een te grote invloed van het stick-slip effect op de positioneringsnauwkeurigheid te voorkomen. Bijna alle fabrikanten smeren hun cilinders met vet zodat toevoegen van een olienevel aan de lucht ongewenst is. Speciaal voor langzaam lopende toepassingen (tot 2mm/min) heeft *ORIGA* langzaamloopvet ontwikkeld. Voor snellopende toepassingen kan het bij sommige cilinders (o.a. *FESTO* boven de 1 m/sec) toch noodzakelijk zijn om over te gaan tot het smeren met olie, hetgeen in de voeding- en genotmiddelenindustrie ongewenst is.

Een aantal cilinders moet altijd met olie gesmeerd worden (*MARTONAIR*, *Specken/Drumag*), maar zijn voor de volledigheid toch in ons overzicht opgenomen.

Over de cilinder van *SMC* kan worden opgemerkt dat deze relatief erg langzaam beweegt. Niet alleen de snelheid is belangrijk, maar ook de versnelling. Wegens onvoldoende informatie is deze niet in de tabel opgenomen.

4. Conclusies en aanbevelingen

Vanwege hun vermogen om dwarskrachten en momenten op te nemen en omdat ze als dragend onderdeel van een machine gebruikt kunnen worden, worden shuttle- en bandcilinders veel toegepast in pick- and place- machines in b.v. portaalopstelling [1,5]. De compacte bouw maakt het samenstellen zeer eenvoudig en goedkoop.

Op het gebied van het gecontroleerd heen en weer bewegen zijn veel systemen te koop die erg nauwkeurig de twee gewenste posities opzoeken. Ook zijn er veel leveranciers die cilinders leveren die in een aantal posities nauwkeurig kunnen worden stilgezet. Deze posities worden aangegeven door reed-contacten of magnetische sensoren die verplaatst kunnen worden.

Slechts een beperkt aantal bedrijven (*FESTO, ORIGA, Hydraudyne*) levert systemen die volledig zijn te programmeren voor wat betreft positie, snelheid en versnelling. Over de manier waarop dit gebeurt, over het gebruiksgemak en over de integratie van het systeem in een procesbesturing kan op grond van folders en gesprekken alleen een globale indruk gegeven worden. Het lijkt erop dat de bedrijven die dit soort cilinders inclusief de besturing leveren, een product aanbieden dat redelijk compleet is en zonder veel aanpassingen kan worden opgenomen in een machine of productieproces.

Over de geschiktheid voor toepassing in de levens- en genotmiddelenindustrie kan weinig worden gezegd. Dit hangt erg af van de omstandigheden waaronder deze cilinders moeten werken en hoe ze gereinigd dienen te worden. Van een aantal bedrijven is wel bekend dat ze systemen geleverd hebben voor deze industrietak. Bij het selecteren van cilinders is er wel op gelet dat oliesmering niet nodig was, al dient opgemerkt te worden dat voor hoge snelheden (>1 m/s) vaak toch het toevoeren van een olienevel noodzakelijk kan zijn.

De 'normale' dubbelwerkende cilinders die voorzien zijn van een positieregeling lijken vooral bedoeld voor het gecontroleerd openen en sluiten van afsluiters en schuiven (in silo's e.d.). De nauwkeurigheid is niet erg hoog, de snelheid laag en ze hebben vaak een geringe slaglengte. Ze worden ook wel gebruikt als grijperdrager in een montagemachine, waarvoor ook weer een geringe slaglengte voldoende is.

Als laatste dient te worden vermeld dat via de literatuuroverzichten, zoals die op CD-ROM in de bibliotheek van de TUE te vinden zijn, weinig bruikbare informatie kan worden verkregen over een praktisch onderwerp als dit. De artikelen die hierin vermeld staan zijn over het algemeen theoretisch en experimenteel van aard, al verschilt dat per onderwerp sterk. Meer informatie kan worden verkregen door het doorbladeren van relevante, wat meer praktische vakbladen. Vaak brengen deze bladen een jaarboek uit waarin een overzicht staat van alle leveranciers, zodat productinformatie snel is op te vragen.

Literatuur

1. MATSER M., **Shuttle-type veruit favoriet als zuigerstangloze cilinder**, Aandrijftechniek 8, augustus 1995, p.18-23.
2. MATSER M., **Electronica bepalend voor ontwikkeling positioneersystemen**, Aandrijftechniek 8, augustus 1995, p.30-34.
3. NIEUWENHUIZEN N., **Soort aandrijving beïnvloed prijs verpakkingsmachine**, Aandrijftechniek 8, augustus 1995, p.38-39.
4. MURRENHOFF H., BOES C., ESCHMANN R., MOSTERT E., **Stand der Entwicklung in der servopneumatischen Antriebstechnik**, Ölhydraulik und Pneumatik 39 nr. 4 (1995), p.264-281.
5. GOEGECKE W.-D., **Servopneumatische Antriebssysteme**, Ölhydraulik und Pneumatik 32 nr. 7 (1988), p.506-510.
6. Folders van leveranciers van pneumatische positioneersystemen uit het Product Informatiecentrum van de faculteit Werktuigbouw en folders die door bedrijven aan ons zijn toegestuurd of gefaxt.

De afbeeldingen in dit rapport zijn afkomstig uit [1,2] en uit folders van de diverse fabrikanten.

Bijlagen: Systeembeschrijvingen per fabrikant

1. FESTO PNEUMATIC

Dr. Cuyperlaan 70

Eindhoven

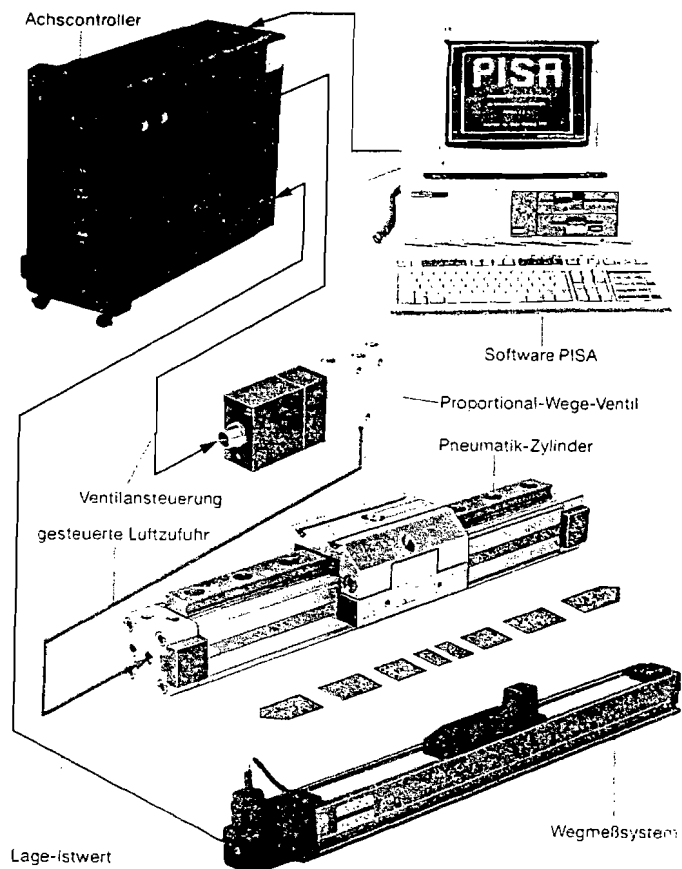
TEL: 040-443825

FAX: 040-439633

Servopneumatisch positioneersysteem

Dit modulair opgebouwde systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- *5/3-ventiel:* Aangestuurd door de besturing schakelt dit ventiel in 5 ms wat borg staat voor een zeer dynamisch systeem.
- *Besturing:* Hierin zijn verschillende functies geïntegreerd. Positiesturing, vergelijken van de huidige en de gewenste posities, bijregelen tot het optimum bij veranderende massa en foutdiagnose behoren tot de mogelijkheden.
- *Standaard cilinder:* De DGP en DGPL shuttlecilinders worden geadviseerd. Ook magneetcilinders kunnen worden toegepast.
- *Extern positiemeetsysteem:* Keuze uit een analoog en een digitaal (nauwkeuriger) systeem. Het analoge systeem, typenummer MLO-POT-...-TLF, werkt met een lineaire potentiometer. De slaglengte kan variëren van 225 tot 2000 mm. Het digitale systeem, typenummer MME-MTS-...-TLF, meet de looptijd van een hoogfrequente magneetpuls. Hiermee is de absolute positie bekend. De resolutie is onafhankelijk van de lengte.
- *Software:* De speciale software PISA is ontwikkeld voor het programmeren en gebruiken van het systeem. De bewegingen kunnen grafisch worden weergegeven en on-line gecontroleerd.



Specificaties:

Werkdruk	6 tot 10 bar
Cilinderboring	25 tot 63 mm
Slaglengte	200 tot 2.000 mm
Maximale kracht	200 tot 1.200 N
Gevoeligheid wegmeetsysteem	Oneindig (afh. van electronica)
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	0,2 tot 0,5 mm
Maximum snelheid	1 m/sec
Levensduur cilinder	Onbekend
Levensduur wegmeetsysteem	Analoog onbekend, digitaal zeer lang (contactloos)
Temperatuurwerkgebied	0°C tot 50°C

2. ASTRO CONTROLS B.V.

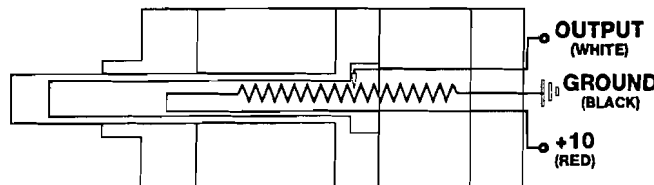
Postbus 352
2130 AJ Hoofddorp
TEL: 02503-15727
FAX: 01720-77500

Bimba Position Feedback Cylinder (PFC)

Dit is een cilinder met ingebouwde potentiometer in de zuiger. In de cilinderkop zit een sleepcontact. De output is proportioneel met de positie van het sleepcontact op de potentiometer, zodat de positie van de cilinder op deze manier kan worden bepaald. De nauwkeurigheid van dit systeem wordt bepaald door 3 factoren:

- *Resolutie*: de kleinste positieverandering die door de potentiometer kan worden gedetecteerd. De potentiometer heeft een oneindige resolutie: de elektronica is de beperkende factor. Uiteraard is de resolutie afhankelijk van de slag: hoe groter de slag hoe kleiner de resolutie.
- *Niet-lineariteit*: de maximale afwijking van het output voltage van een rechte lijn.
- *Herhalingsnauwkeurigheid*: de mate waarin het systeem dezelfde output geeft bij dezelfde cilinderpositie bij herhaalde positionering.

De bijbehorende Electronic Controller voorziet de PFC van geregelde input. Er zijn 4 modellen voor AC en DC input en output. De besturing kan op een veilige positie worden opgesteld.



STROKE = 0; OUTPUT VOLTAGE = 0 VOLTS
STROKE = FULL; OUTPUT VOLTAGE = 10 VOLTS

Specificaties:

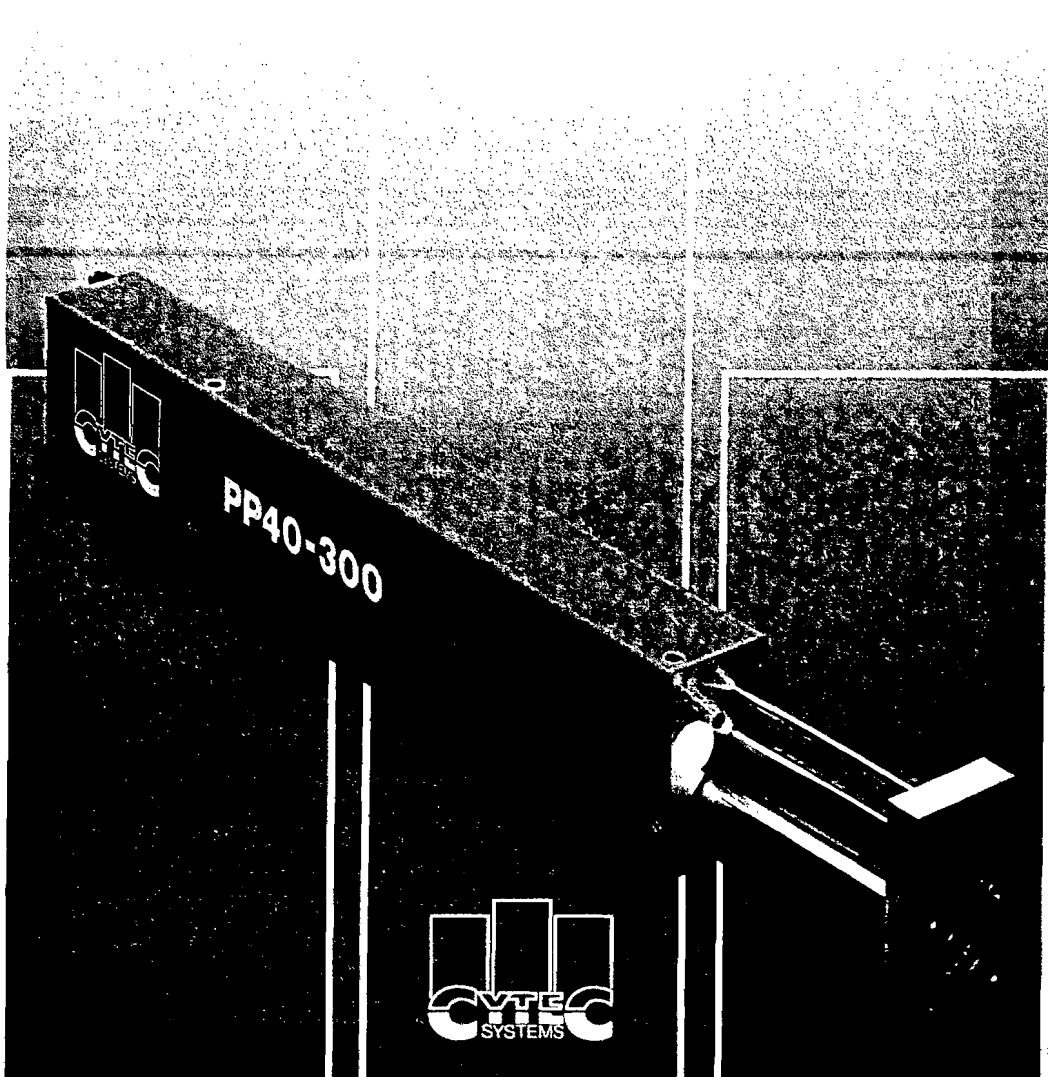
Werkdruk	10 bar
Cilinderboring	27 tot 76 mm
Slaglengte	25 tot 610 mm
Maximale kracht	Onbekend
Gevoeligheid	Oneindig (afh. van electronica)
Niet-lineariteit	1% van de volle slag
Nauwkeurigheid	0.01 mm
Maximum snelheid	1,27 m/sec
Levensduur cilinder	3.000 km
Levensduur wegmeetsysteem	12.000 km
Temperatuurwerkgebied	-20°C tot 70°C

CYTEC Programmeerbare positioneercilinder PP40

Deze zuigerstangcilinder maakt gebruik van een analogoog wegmeetsysteem en stuurventielen. Er is een *regelkaart EP8*, die eventueel ondergeschikt aan een ander regelsysteem kan worden gesteld. De gewenste posities kunnen softwarematig worden ingegeven. Het remventiel treedt, afhankelijk van de bewegingssnelheid, ruim voor de te bereiken positie in werking. Hierdoor kan een hoge positioneernaauwkeurigheid worden bereikt.

Specificaties:

Werkdruk	5 à 10 bar (bedrijfsdruk 6 bar)
Cilinderboring	Uit: 1000 mm ² , In: 765 mm ²
Slaglengte	150 tot 900 mm
Maximale kracht	Onbekend
Gevoeligheid wegmeetsysteem	Oneindig (Afh. van electronica)
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	0,05% van de slag
Maximum snelheid	Onbekend
Levensduur cilinder	Onbekend
Levensduur wegmeetsysteem	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	Onbekend



3. HOERBIGER / ORIGA

Guldengarde 6
5234 GG Den Bosch
TEL: 073-441771
FAX: 073-441897

ORIGA Sensoflex

Deze wegmeetsystemen voor de automatisering zijn verkrijgbaar in twee uitvoeringen:

ORIGA-SFI

Een incrementeel optisch wegmeetsysteem met onbeperkte meetlengte. Het systeem bestaat uit een meetlint en een encoder. De gebruikte streepjes zijn twee mm breed. Met twee sensoren is de te bereiken nauwkeurigheid dan 1 mm. Als optie kan de encoder de signalen zelf verwerken tot één pulserend telsignaal.

Specificaties:

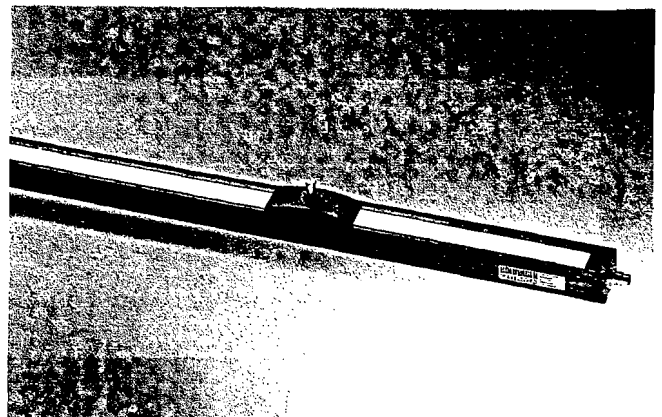
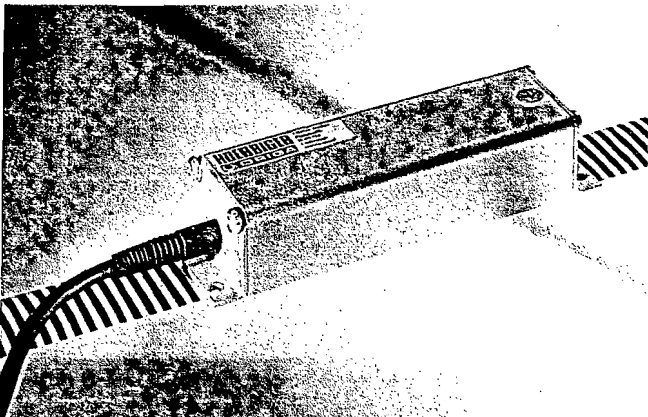
Maximum snelheid	10 m/sec
Nauwkeurigheid	1 mm
Temperatuurwerkgebied	0°C tot 50°C
Niet-lineariteit	0,1%
Lengte	Onbegrensd
Levensduur	Onbegrensd

ORIGA-SFA

Dit analoge wegmeetsysteem werkt met een lineaire potentiometer: een sleepcontact wordt over een weerstand bewogen. Deze weerstand is gemaakt van hoogwaardige kunststof.

Specificaties:

Maximum snelheid	5 m/sec
Nauwkeurigheid	0,05 mm
Temperatuurwerkgebied	-20°C tot 80°C
Niet-lineariteit	N.v.t.
Lengte	126 tot 604 mm
Levensduur	6000 km of 15 miljoen cilinderbewegingen van ± 2 mm max.

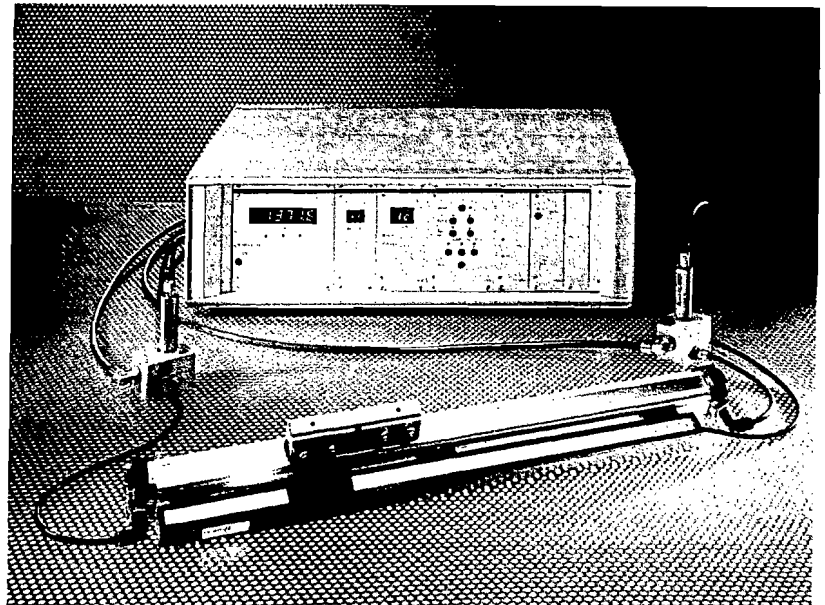


ORIGA-SERVOTEC

Het positionersysteem bestaat uit een zuigerstangloze shuttlecilinder met een absoluut wegmeetsysteem (ORIGA-SFA). De gegevens van dit wegmeetsysteem worden in een controller vertaald in aanstuursignalen voor de beide regelventielen. Deze controller kan communiceren met een centrale (analoge of digitale) besturing. Als stuursignaal kunnen zowel een spanning als een stroom worden gebruikt. Stroom heeft het voordeel verliesvrij te zijn, terwijl er over een bepaalde afstand altijd een spanningsval is. De shuttlecilinders van ORIGA hebben als enige stalen afdichtingsbanden. Deze worden magnetisch op hun plaats gehouden, waardoor de afdichting ook bij lage druk goed functioneert.

Specificaties:

Werkdruk	1 tot 8 bar
Cilinderboring	25 tot 32 mm
Slaglengte	200 tot 3000 mm
Maximale kracht	32 tot 2600 N
Gevoeligheid wegmeetsysteem	Afh. van meetsysteem
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	0,1 mm/m
Maximum snelheid	1,5 m/sec
Levensduur	Afh. van gebruikte cilinder
Temperatuurwerkgebied	0°C tot 50°C



4. SEMPRESS B.V.

Postbus 60

3340 AB Hendrik-Ido-Ambacht

TEL: 01858-10444

FAX: 01858-19812

S-LINA

De positioneercilinder is een combinatie van een zuigerstangcilinder, een aangekoppelde analoge verplaatsingsopnemer op basis van een potentiometer, stuurventielen en regelelectronica.



Specificaties:

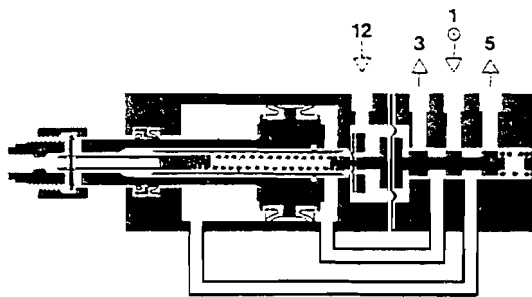
Werkdruk	1 tot 10 bar
Cilinderboring	40 tot 80 mm
Slaglengte	150 tot 400 mm
Maximale kracht	Snelheidsafhankelijk
Gevoeligheid wegmeetsysteem	Afh. van electronica
Niet-lineariteit	Onbekend
Nauwkeurigheid	0,1% van de slag
Maximum snelheid	0,04 tot 0,5 m/sec
Levensduur cilinder	Onbekend
Levensduur wegmeetsysteem	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	-10°C tot 70°C

5. NORGREN MARTONAIR B.V.

Kabelweg 50
1014 BB Amsterdam
Postbus 8012
1005 AA Amsterdam
TEL: 020-6822751
FAX: 020-6820983

MARTONAIR integrale servocilinder M/1525 en M/1540

De plaats en de beweging van de zuigerstang wordt bepaald door een regelbare stuurdruk die een 5/3 ventiel aanstuurt. De kracht van de stuurdruk maakt op de gewenste positie evenwicht met de veerkracht. Het gehele regelmechanisme is in de cilinder ingebouwd. Aan de voedingslucht dient olie te worden toegevoegd. Hierdoor kan toepassing in de voedings- en genotmiddelenindustrie uitgesloten zijn.



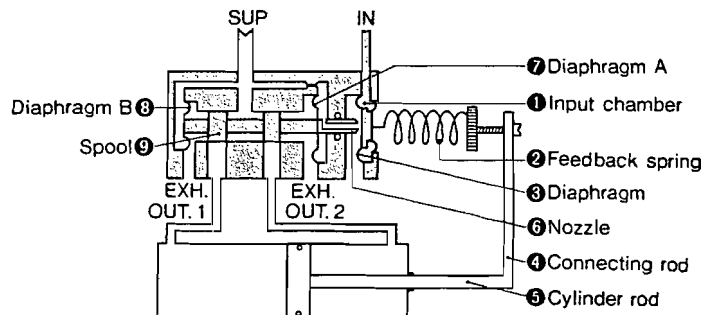
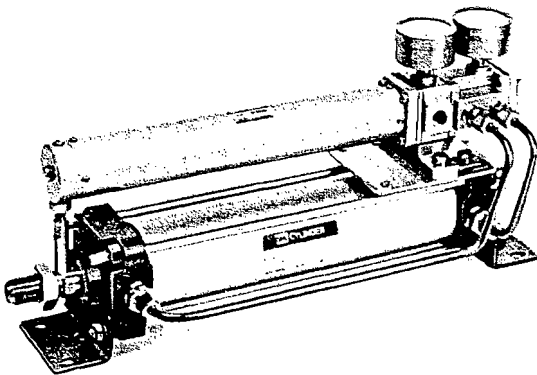
Specificaties:

Werkdruk	2 tot 10 bar
Signaaldruk	0,2 tot 1,04 bar
Cilinderboring	63 tot 102 mm
Slaglengte	75-125-200 mm
Maximale kracht	300 tot 4.000 N
Gevoeligheid	0,007 bar
Niet-lineariteit	1,3% van de slag
Nauwkeurigheid	0,75% van de slag
Maximum snelheid	Onbekend
Levensduur	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	5°C tot 80°C

6. SMC CONTROLS B.V.
 De Ruyterkade 143
 Postbus 308
 1000 AH Amsterdam
 TEL: 020-6255525
 FAX: 020-6231432

Cylinder Positioner Series IP200

Dit is een pneumatische cilinder die gestuurd wordt met een pneumatisch signaal (0.2-1.0 bar, 0-100% cilinderuitslag). Met deze stuurdruk wordt een 5/3 ventiel geopend. De positie wordt teruggekoppeld d.m.v. een veer die uitgerekt wordt bij het uitschuiven van de cilinderstang. Bij het bereiken van de juiste stand is de veerkracht (zie SMC) gelijk aan de stuurdruk en staat het regelventiel in neutrale stand. De hele regeling zit geïntegreerd op de cilinder gebouwd.



Specificaties:

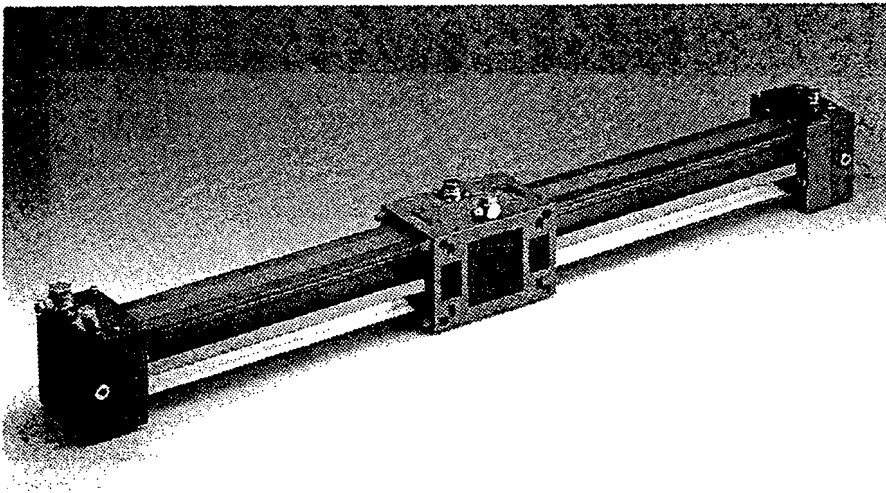
Werkdruk	3 tot 7 bar
Signaaldruk	0,2 tot 1,0 bar
Cilinderboring	50 tot 300 mm
Slaglengte	25 tot 300 mm
Maximale kracht	Onbekend
Gevoeligheid	0.5% van de slag
Niet-lineariteit	2% van de slag
Nauwkeurigheid	1% van de slag
Maximum snelheid	50 mm/sec
Gevoeligheid voor veranderingen in werkdruk	1% per 0,5 bar
Levensduur	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	-5°C to 60°C

7. HYDRAUDYNE PNEUMATIEK B.V.

Bankwerkersstraat
Postbus 9236
3007 AE Rotterdam
TEL: 010-4970300
FAX: 010-4821210

Pneumatisch positioneersysteem LA 85

Bandcilinder, servoventielen en incrementeel wegmeetsysteem zijn volledig geïntegreerd tot een zeer hoogwaardig systeem. De besturing, typenummer MC 01, kan 15 programma's van 40 regels opslaan. Positie, snelheid en versnelling kunnen menugestuurd geregeld worden. Met los verkrijgbare software kan de programmering per PC geschieden.

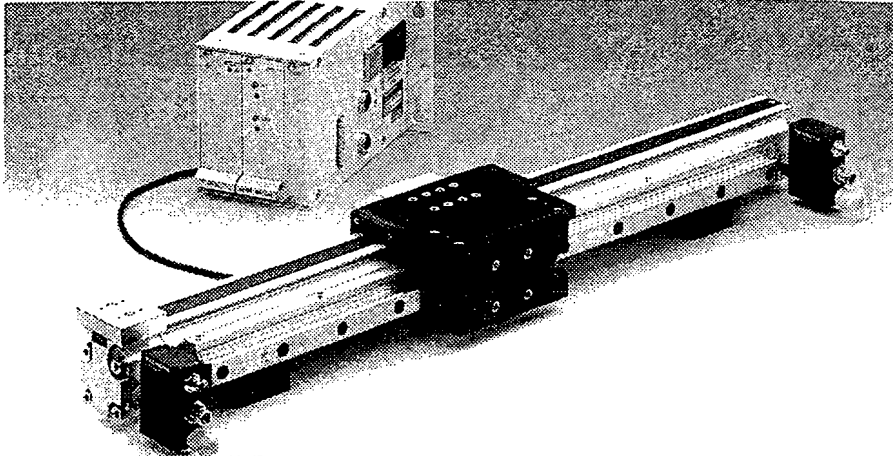


Specificaties:

Werkdruk	5 tot 7 bar
Cilinderboring	25 tot 30 mm
Slaglengthe	100 tot 1.500 mm
Maximale kracht	220 tot 320 N
Gevoeligheid wegmeetsysteem	N.v.t.
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	0,01 mm
Maximum snelheid	3,5 m/sec
Levensduur cilinder	Onbekend
Levensduur wegmeetsysteem	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	Onbekend

Positioneersysteem LP

Dit systeem is opgebouwd als de LA 85, alleen uit minder hoogwaardige onderdelen. Het is de oplossing wanneer er minder hoge eisen worden gesteld aan de positioneer-nauwkeurigheid. Ook bij dit systeem wordt de MC 01 besturing toegepast.



Linearpositionierer LP 25 F

Specificaties:

Werkdruk	5 tot 7 bar
Cilinderboring	25 tot 50 mm
Slaglengte	max. 100 mm.
Maximale kracht	240 tot 1000 N
Gevoeligheid wegmeetsysteem	N.v.t.
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	0,2 mm
Maximum snelheid	2 m/sec
Levensduur cilinder	Onbekend
Levensduur wegmeetsysteem	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	0°C tot 45°C

8. **TER HORST B.V.**
De Run 5429
Postbus 9
5500 AA Veldhoven
TEL: 040-2534470
FAX: 040-2537622

Specken/Drumag hydropneumatische cilinder HPE

De cilinder is een integratie van een pneumatische cilinder en een olieremcilinder. D.m.v. olie tussen de twee zuigers wordt de beweging van de cilinderstang gecontroleerd. In het midden van de cilinder zit een regelblok met kanaaltjes. Bij het verplaatsen van de zuigers moet olie van de ene zijde van het regelblok naar de andere stromen. De snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van de instelling van de regelkleppen in het blok. Hierdoor kan zeer nauwkeurig de cilindersnelheid geregeld worden. De bediening van de regelkleppen kan mechanisch of pneumatisch geschieden.

Om het systeem te kunnen gebruiken als positioneersysteem moet een positiemeetsysteem aangebracht worden dat bij het bereiken van de gewenste stand de werkdruk van de cilinder afhaalt. Door de olieremming stopt de cilinder dan binnen 0,1 mm.

De werklucht moet voorzien zijn van een olienevel en er treedt altijd enige lek op vanuit het oliegedeelte. Hierdoor kan een toepassing in de voedings- en genotmiddelenindustrie uitgesloten zijn.

Specificaties:

Werkdruk	3 tot 10 bar
Cilinderboring	50 tot 80 mm
Slaglengte	Onbekend (< 0,5*lengte)
Maximale kracht	1800 N
Gevoeligheid wegmeetsysteem	Afh. van wegmeetsysteem
Niet-lineariteit	N.v.t.
Nauwkeurigheid	Afh. van besturing
Maximum snelheid	3 m/sec
Levensduur	Onbekend
Temperatuurwerkgebied	15°C tot 80°C

