

# Energieverlies van pneumatische actuatoren

R.M. van Koperen [wb1016849] en H. van den Brink [wb1023373]  
 Technische Universiteit Delft, Faculteit Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek en  
 Materiaal Wetenschappen, Afdeling Werktuigbouwkunde. Delft, juni 2005

## Samenvatting

Om inzicht te geven in het energieverlies van pneumatische actuatoren, wordt in dit onderzoek gezocht naar een methode voor het vergelijken van lineaire pneumatische actuatoren op basis van rendement. In deze paper wordt een methode voor deze vergelijking beschreven en getest. De resultaten zijn veelbelovend, maar het verhelpen van beperkingen in de meetopstelling en vervolgens het uitvoeren van meer metingen is noodzakelijk om uitspraken te doen over de mogelijkheid tot vergelijken.

## 1. Inleiding

Pneumatische actuatoren – werktuigkundige constructies waarmee energie uit gecomprimeerde lucht kan worden omgezet in bewegingsenergie – worden toegepast voor aandrijving in vooral de industriële automatisering. Pneumatische aandrijving is schoon, relatief goedkoop en vraagt weinig onderhoud. Een groot nadeel is echter dat het een laag rendement heeft. Opmerkelijk is dat dit rendement in de praktijk nagenoeg geen rol speelt bij de keuze voor een actuator voor een bepaalde toepassing, terwijl dit toch bepalend is voor de operationele kosten. Een reden voor dit gebrek aan aandacht voor rendement, is dat er nog te weinig bekend is over de energieverliezen van pneumatische actuatoren. Met dit onderzoek wordt een basis gelegd voor inzicht in deze energieverliezen. Dit inzicht moet het mogelijk maken rendement een keuzeaspect te laten zijn bij het ontwerp van pneumatische systemen en kan als basis dienen voor ontwerpverbeteringen ter verkrijging van een hoger rendement uit pneumatische actuatoren.

Het onderzoek beperkt zich tot lineaire pneumatische actuatoren. Voor een actuator in een specifieke toepassing, wordt bepaald hoe groot het rendement bij diverse belastingen is. Vervolgens wordt gekeken of dit rendement gemoduleerd kan worden. Dit moet antwoord geven op de hypothese dat lineaire pneumatische actuatoren met elkaar vergeleken kunnen worden op basis van rendement bij een bepaalde belasting.

## 2. Methode

Voor het bepalen van rendement, moet bekend zijn hoe groot het energieverlies is dat tijdens de energieomzetting optreedt. Energieverlies is in dit onderzoek de verzamelnaam voor alle energie uit gecomprimeerde lucht, die niet ten goede komt aan de belasting die een actuator gedurende een gewenste beweging op een extern object uitoefent.

Het totale energieverlies kan bepaald worden door het specificeren en bepalen van de grootte van de verschillende bijdragen aan het energieverlies. Dit is echter een erg complexe opgave. Het bepalen van het energieverlies wordt gemakkelijker als de actuator wordt beschouwd als een *black box* waarin energie wordt omgezet. Vanuit deze systeembenadering kan

het energieverlies bepaald worden, door het verschil te nemen tussen de energie uit gecomprimeerde lucht die aan het gesloten systeem wordt toegevoerd en de bewegingsenergie die wordt uitgeoefend op objecten in de systeemomgeving. Rendement is gedefinieerd als de verhouding tussen deze bewegingsenergie en toegevoerde energie.

Voor het bepalen van de energie onttrokken aan gecomprimeerde lucht, die kan worden omgezet in bewegingsenergie, wordt een exergiebenadering toegepast. Exergie uit lucht in een pneumatisch systeem, is gedefinieerd als: de maximale energie onttrokken aan lucht, die kan worden omgezet in bewegingsenergie gedurende een reversibele omzetting, totdat de lucht in evenwicht is met de omgevingscondities van het systeem. Zo gedefinieerd, kan vanuit de exergiebenadering de volgende vermogensbalans opgesteld worden:

$$Q_t = Q_{eb} + Q_v \quad [\text{J/s}] \quad [1]$$

Hierin is  $Q_t$  het toegevoerde vermogen,  $Q_{eb}$  het vermogen tegen externe belastingen en  $Q_v$  het vermogensverlies. Voor  $Q_t$  en  $Q_{eb}$  gelden de volgende vergelijkingen:

$$Q_t = RT_a \left| \ln \frac{p_t}{p_a} \right| \rho q \quad [2] \quad Q_{eb} = mgu \quad [3]$$

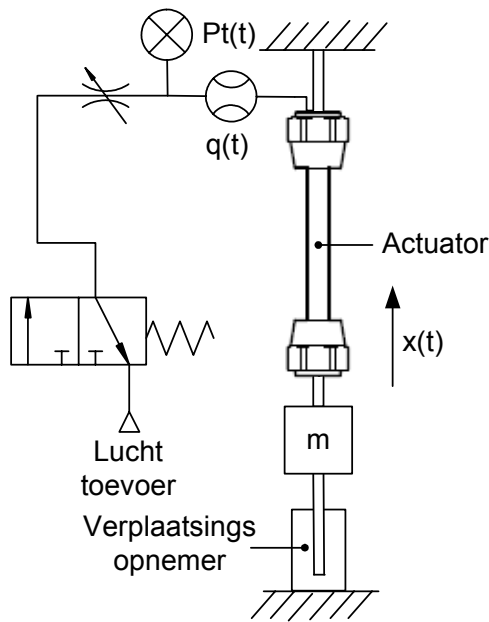
Waarin:

- R = gasconstante van lucht [J/kgK]
- $T_a$  = omgevingstemperatuur [K]
- $p_a$  = omgevingsdruk [N/m<sup>2</sup>]
- $p_t$  = voedingsdruk [N/m<sup>2</sup>]
- $\rho$  = dichtheid lucht bij  $T_a$  en  $p_t$  [kg/m<sup>3</sup>]
- q = volumestroom lucht [m<sup>3</sup>/s]
- m = massa [kg]
- g = gravitatieversnelling [m/s<sup>2</sup>]
- u = bewegingssnelheid massa [m/s]

Op basis van vergelijkingen [1], [2] en [3] is een meetopstelling, voor ondermeer het bepalen van het rendement, ontworpen en gebouwd. Deze opstelling is in figuur 1 schematisch weergegeven.

De te meten variabelen zijn de voedingsdruk [ $p_t(t)$ ], volumestroom [ $q(t)$ ], verplaatsing [ $x(t)$ ], massa [m] en tijdsduur [t] gedurende één opgaande beweging. Met

behulp van deze meetgegevens en de vergelijkingen [2] en [3] kan het rendement bepaald worden.



Figuur 1: Schematische weergave van meetopstelling met pneumatische spier.

Om het moduleren van rendement mogelijk te maken, moet het rendement bepaald worden van meerdere pneumatische zuiger/cilindercombinaties en pneumatische spieren (trekactuators) van verschillende uitvoering. De meetgegevens worden *realtime* ingelezen en verwerkt met een computer. Deze verwerkingsmethode maakt nauwkeurig meten mogelijk en het uitvoeren van een groot aantal metingen haalbaar.

### 3. Resultaten

De resultaten van metingen aan de Festo DMSP-10-100N-RM, een pneumatische spier met een lengte van 100mm en een diameter van 10mm, worden hier gepresenteerd. Bij de metingen zijn de voedingsdruk van 6 bar [ $6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ] de volumestroomreductie in toe- en afvoer niet gevarieerd. Het rendement,  $Q_{eb}/Q_t$ , is gemeten bij vijf verschillende belastingen. De verschillen in de belasting zijn gerealiseerd door het variëren van de massa. Elke metingen is vijf keer herhaald. De resultaten van deze metingen zijn weergegeven in figuur 2. De variatie in de resultaten is weergegeven door middel van een Boxplot.

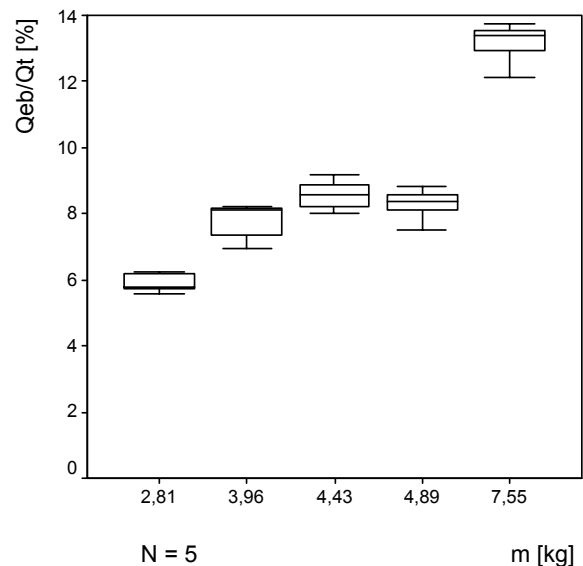
### 4. Discussie en conclusies

- Uit vergelijking van de resultaten met gegevens van het theoretische luchtverbruik, blijkt dat de metingen realistische waarden opleveren. Op basis van de kleine variatie in de resultaten, kan geconcludeerd worden dat de metingen reproduceerbaar zijn.
- De gemeten waarden zijn niet nauwkeurig, vanwege beperkingen in de meetopstelling. Volumestromen kleiner dan 5 l/min kunnen niet met de beschikbare volumestroomsensor gemeten worden. Verder is de voedingsdruk gemeten met een manometer. Met dit

meetinstrument kan niet *realtime* uitgelezen worden. De voedingsdruk is daarom constant verondersteld. Voor nauwkeurige metingen moeten deze beperkingen verholpen worden. Pas daarna kan uitspraak gedaan worden over de nauwkeurigheid van de resultaten.

- Voor het moduleren van het rendement moeten veel meer metingen worden uitgevoerd dan tot nu toe is gedaan. Er kan daarom geen uitspraak gedaan worden over de mogelijkheid actuators op basis van rendement bij een bepaalde belasting, te vergelijken.
- Vervolgonderzoek is noodzakelijk voor het inzichtelijk maken van de energieverliezen. Een exergie-analyse van het energieverlies is hiervoor uitermate geschikt.

Boxplot Festo DMSP-10-100-RM



Figuur 2: Resultaten van metingen aan pneumatische spier (Boxplot-weergave).

### Dankbetuiging

Dit onderzoek is begeleid door dhr. Dr.Ir. D.H. Plettenburg (TU Delft) en dhr. Ir. J. Koudijzer (Festo). De actuators en sensoren die gebruikt zijn bij dit onderzoek, zijn beschikbaar gesteld door Festo B.V.

### Referenties

- 1] Majumdar, S.J., *Pneumatic Systems, Principles and Maintenance*, Mc Graw Hill, 1995
- 2] Moran, M.J, Shapiro, H.N, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, John Wiley & Sons Ltd., 3<sup>th</sup> edition, 1998
- 3] Kagawa, T, M L Cai, T Fujita, and M Takeuchi, *Energy consideration of pneumatic cylinder actuating system*, 2000, Proceedings of Sixth Triennial International Symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, 13-17, August 2000, Sherbrooke, Canada
- 4] Pakinnen, R, Lappalainen, P, *A Consumption Model of Pneumatic Systems*, 1991, Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1991 IEEE
- 5] <http://www.festo.nl>