

Thermodynamische monitoren van hydrostatische aandrijvingen

Citation for published version (APA):

Schlösser, W. M. J., & Witt, K. (1980). Thermodynamische monitoren van hydrostatische aandrijvingen. *Aandrijftechniek*, 3(5), 264-267.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1980

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.

Thermodynamische monitoren van hydrostatische aandrijvingen

Prof. dr. ir. W.M.J. Schlösser, Dr. Ing. K. Witt

Laboratorium voor Aandrijftechniek, T.H. Eindhoven

Doelstelling van het onderzoek

Om de technische vooruitgang te waarborgen, worden bestaande machines verbeterd en nieuwe technologieën geïntroduceerd. De doelstelling, om aan de vooruitgang op technisch gebied te beantwoorden, bracht voor de hydraulische aandrijftechniek een stormachtige ontwikkeling met zich mee. De ontsluiting van nieuwe afzetmarkten had als logisch gevolg dat de hydraulische overbrenging meer en meer de kern van kapitaalintensieve machine-installaties werd. Doordat deze overbrenging steeds meer, in uiteenlopende gebieden van de werktuigbouw, terrein wint is de weg naar meer omvangrijke en meer complexe systemen afgebakend. Onverwachte uitval door defecten van deze systemen stelt de gebruiker voor grote economische problemen. Pas wanneer de stilstandtijden voorspelbaar worden, kan naar een optimale benuttingsgraad van machine-installaties worden gestreefd. Dit is echter alleen door continue bewaking (condition-monitoring) mogelijk, als 'verrassingen' dienen te worden uitgesloten. Ondanks of juist door de opmerkelijke successen door de hydraulische overbrengingen geboekt, dient de vraag te worden gesteld of de methoden die tot nu toe de conditie van deze overbrengingen controleerden, nog beantwoorden aan de hoge ontwikkelingsgraad die inmiddels werd bereikt.

Ongetwijfeld is de uitwisseling van componenten, hetzij op basis van bedrijfsuren, hetzij bij onverwachte uitval, een slecht compromis dat geen bevredigende oplossing op lange termijn kan en mag zijn. Dit geldt ook voor het 'goedgeschoolde' oor van een onderhoudsmonteur. Uitspraken gebaseerd op visuele en/of acoustische waarnemingen van één persoon zijn immers subjectief. Afgezien van het probleem om op het juiste tijdstip over de juiste man te beschikken, vereist deze diagnosevorm een veeljarige ervaring die slechts moeilijk is over te dragen. Een efficiënte planning vooraf is, afgezien van de steeds groter wordende moeilijkheid om over geschikt onderhoudspersoneel te beschikken, op objectiviteit aangewezen. Op de zo eenvoudig schijnende, bedrijfseconomisch echter wezenlijke vraag, in welke conditie zich de hydrostatische installatie bevindt en hoe lang ze vermoedelijk nog goed functioneert, kan op het ogenblik meestal geen bevredigend antwoord gegeven worden. Het antwoord: 'zolang deze overbrenging niet uitvalt', toont de hele problematiek.

De oplossing van dit probleem kan alleen in nauwe samenwerking tussen de werktuigbouw en de elektronica worden gezocht. De financieel steeds aantrekkelijker wordende microprocessoren en data-verwerkende technieken, effenen de weg voor bewaking door monitoring. De ontwikkeling van de elektronische bouwstenen is reeds zover gevorderd, dat van die kant geen onoverkomelijke problemen in de weg zullen worden

gelegd; vooropgesteld dat de te verwerken signalen in 'elektrische vorm' worden aangeboden.

Taak van de 'aandrijf-ingenieur' is het, door middel van geschikte meetmethoden een elektrisch signaal aan te bieden, met behulp waarvan een ondubbelzinnige uitspraak over de conditie en de inzetbaarheid van de hydraulische componenten mogelijk is. Lukt deze versmelting van werktuigbouw en elektronica, dan zou dit de basis van een nieuwe discipline kunnen zijn, met als naam 'hydrotronisch monitoren'.

In dit artikel wordt over het fundamenteel onderzoek ten behoeve van een meetmethode, te weten 'thermodynamisch monitoren', verslag uitgebracht. Een meetmethode welke in staat is, de voor continue bewaking uit te voeren taken te helpen verwezenlijken.

De energie-drager als informatie-drager

Vergelijkt men de fluïdische techniek met de elektrotechniek, dan kan men concluderen, dat bij de laatste discipline in tegenstelling tot de eerste discipline de energie-drager ook als informatie-drager wordt gebruikt. Daaruit volgt, wanneer het om bewakingssystemen gaat, een pluspunt ten gunste van de elektrotechniek.

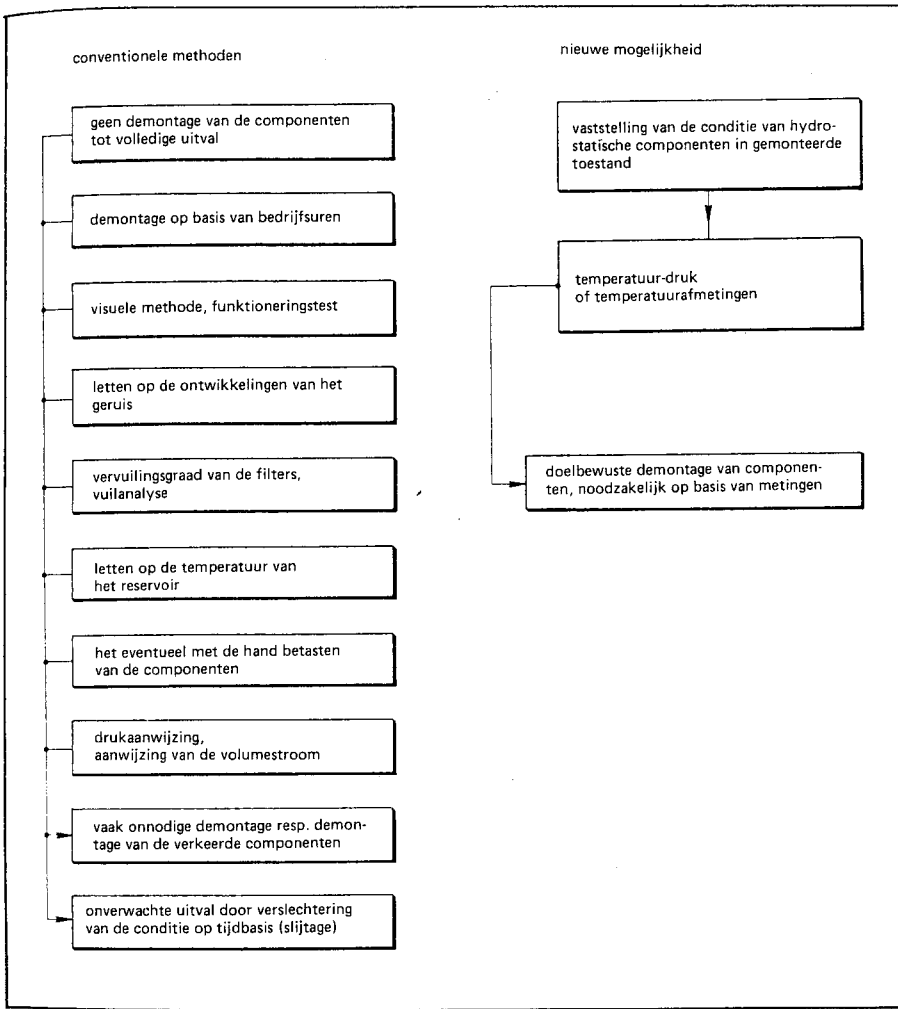
In de waterturbinebouw dwongen grote vermogens tot andere dan mechanische meettechnieken. Een vermogensbepaling en een conditiebepaling op conventionele basis was hier in de praktijk nauwelijks uitvoerbaar. Reden waarom men reeds in een

vroegtijdig stadium het gebruik van temperatuurmetingen testte [1][2]. De historische ontwikkeling in de waterturbinebouw wordt door [3] beschreven; [4] geeft een overzicht van de beschikbare literatuur t/m augustus 1976.

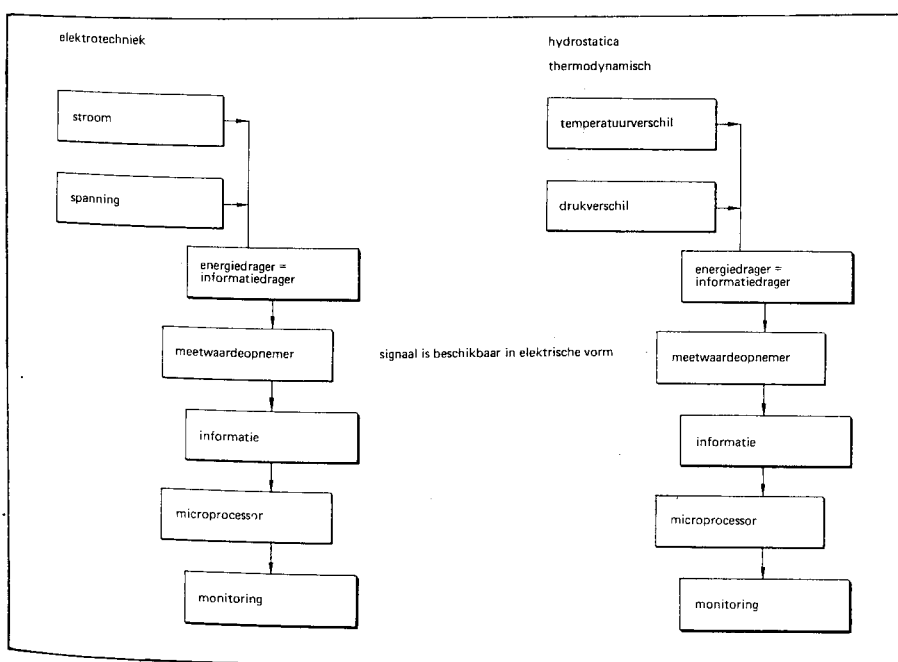
De meettechniek in de hydrostatica was tot nu toe gebaseerd op mechanische grootheden zoals 'kracht-weg-tijd'. In tegenstelling tot de elektrotechniek en de waterturbinebouw, beide met één energie-drager, stond het grote aantal als energie-drager inzetbare hydraulische vloeistoffen een gebruik van de energiedrager als informatiedrager bij de hydrostatische overbrenging in de weg. De zich reeds vroegtijdig aftekenende eis naar preventief onderhoud en bewaking van kapitaalintensieve machine-installaties dwong ons hier naar nieuwe wegen te zoeken. De eerste impulsen dateren uit 1954 [5] en 1959 [6]. Zij verwezen naar de perspectieven welke een thermodynamische meetmethode zou kunnen bieden.

De conventionele mogelijkheden ter beoordeling van de conditie van hydrostatische componenten zijn zeer beperkt, een continue bewaking c.q. een gerichte foutenlocalisering is in de praktijk niet of nauwelijks mogelijk. Afbeelding 1 geeft hiervan een overzicht. Vaak is ook datgene wat de conventionele methoden vaststellen zo specifiek voor bepaalde componenten, dat dit niet of nauwelijks op andere componenten toegepast kan worden. Als voorbeeld hiervan kan men het vaststellen van lagerschade d.m.v. trillingsmetingen noemen.

Op grond van deze feiten werd bij de ontwikkeling van een nieuw diagnosesysteem de algemene toepasbaarheid op de voorgrond van de overwegingen gesteld. De beste voorwaarden hiertoe biedt een meetmethode op energetische grondslag, aangezien toestandveranderingen en verliezen in de energiebalans van een systeem hun weerslag vinden. Aangezien verliezen in warmte worden omgezet, ligt de keuze van een diagnosemethode op basis van temperatuurmetingen voor de hand. Dat betekent dat de informatie over de conditie van hydraulische componenten en systemen aan de 'energiedragende vloeistof' kan worden ontleend. Daarmee is dan de hydrostatische overbrenging, door gebruik te maken van de aanzienlijk hogere krachtdichtheid, in staat de voorsprong die de elektrotechniek met de mogelijkheden van monitoring



Afb. 1. Overzicht van de methoden ter beoordeling van de conditie van hydrostatische componenten.



Afb. 2. Vergelijking van de diagnosemethoden in de elektrotechniek en de hydrostatica voor conditie monitoring.

biedt, weer in te lopen. Zoals afbeelding 2 laat zien, blijkt er dan weer een grote overeenkomst tussen beide disciplines te bestaan.

Onderzoek naar de grondslagen van thermische beproeving en monitoring

De zich hier aftekenende mogelijkheden met een meetmethode op basis van temperatuurmetingen leidden in de jaren 1965/1966 tot de eerste experimenten aan de T.H. Eindhoven [7] in het laboratorium voor Aandrijftechniek der Afdeling Werktuigbouwkunde.

Uit deze proeven bleek dat de destijds beschikbare kennis van het thermodynamisch gedrag van vloeistoffen voor de interpretatie van de meetresultaten onvoldoende was. Derhalve werd in een tweede aanloop een onderzoek gestart, dat de beschrijving van de fysische en thermodynamische grootheden van vloeistoffen ten doel had. Er werden mathematische modellen voor genoemde grootheden opgesteld die zowel voor hydraulische vloeistoffen op minerale als op synthetische basis gelden. Deze onderzoeken leidden ook tot een engere samenwerking met het 'Erdölinstitut Hannover'. In een tijdsbestek van ca. 3½ jaar konden de grondslagen voor de beschrijving van het gedrag van vloeistoffen binnen de bereikbare meetnauwkeurigheid worden gelegd. Tegelijkertijd werd het fundamentele bewijs dat de thermodynamische meetmethode haalbare kaart is onder laboratoriumcondities geleverd [8] [9].

Op grond van de dan beschikbare resultaten verklaarden zich vanaf begin 1974 tien firma's onder leiding van de Verein Deutscher Maschinenbau Anstalten (VDMA-Frankfurt) bereid een project aan de T.H.E. te financieren, dat het toepasbaar maken van de meetmethode voor de praktijk ten doel had. Met behulp van de grondslagen uit de periode 1970-1973, welke nu als referentie-kader dienden, was het mogelijk de toelaatbaarheid met betrekking tot de thermodynamica van de vloeistof, van vereenvoudigingen van de berekeningsgrondslagen en van meetopstellingen te onderzoeken. Verder vormden de indeling van nauwkeurigheidsklassen, het vastleggen van de noodzakelijke afmetingen van de temperatuur-voelers inhoudelijk het kader van het eerste VDMA onderzoek (jan. 1974 - mei 1976). De resultaten van dit onderzoek zijn in een tussentijds- en een eindrapport ('Forschungsbericht') vastgelegd. Eveneens is een uittreksel van de resultaten in een publicatiereeks in het tijdschrift Ölhydraulik und Pneumatik [10] [11] [12] [13] [14] [15] en in Polytechnisch Tijdschrift Werktuigbouw [18] [19] [20] [21] [22] [23] verschenen.

De resultaten van het eerste VDMA-onderzoek leidden tot een aansluitend project, dat door het totale researchfonds van de gehele bedrijfstak Ölhydraulik und Pneumatik van de VDMA gestimuleerd en gefinancierd werd. Doel van het tweede onderzoek van juni 1978 tot december 1978 was de randcondities in de praktijk alsook

de
he
nw
en
'm

tot
ne-
el-
bi-
er,
in-
ge-
ie-
ke-
be-
ne-
ve-
aar
ni-

or-
he
iti-
ka-
jks
en
on-
di-
ten
er-
ha-

nt-
em
or-
De
zet-
ge-
in
nun
in
/an
pe-
ent
hy-
aan
ten
che
/an
in
iek
ing



de grenzen van de meetmethode vast te leggen. Deze resultaten werden wederom in een rapport en in een tweetal publicaties in *Ölhydraulik und Pneumatik* [16] [17] en in *Polytechnisch tijdschrift Werktuigbouw* [24] [25] verschenen.

De onderzoeken concentreerden zich op het testen resp. de conditiebewaking van hydropompen en -motoren. Bij 'condition-monitoring' is naast de bewaking van pompen en motoren echter ook de bewaking van regel- en stuurcomponenten belangrijk. Daarom wordt in de periode juli 1979 - juli 1980 in een aanvullend VDMA-onderzoek de bewakings- resp. testmogelijkheden van hydrostatische kleppen aan de T.H.E. onderzocht.

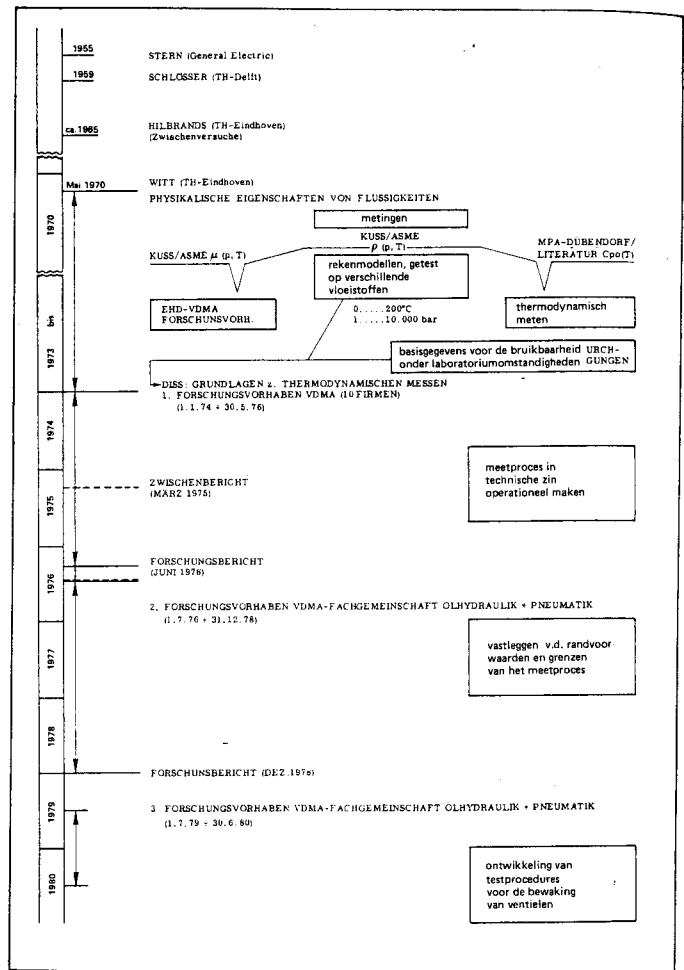
Een overzicht van de activiteiten op het gebied van de thermodynamische meetmethode van medewerkers van het 'laboratorium voor Aandrijftechniek' van de T.H. Eindhoven is in afbeelding 3 voor het chronologisch verloop en in afbeelding 4 voor publicaties, rapporten en lezingen samengesteld. Op deze plaats dient ook nog de ontwikkeling van prototype apparaat, geschikt voor snelle steekproefsgewijze metingen, aan de T.U. Braunschweig te worden genoemd [26] [27] [28].

Toepassing van thermisch testen en monitoren

Als toepassing voor de thermische meetmethode komen vooral de volgende 'gebieden' in aanmerking:

- eindcontrole van producten
- duurloopbeproeving
- condition monitoring
- fouten-lokalisering

Testopstellingen ten behoeve van productie-controles van pompen en hydromotoren beperken zich in het algemeen tot volumetrische metingen. Een compleet arsenaal van meettechnische apparatuur om een totaalbeeld van de verliezen te verkrijgen was tot nu toe voor productie-



Afb. 3. Chronologisch verloop van het wetenschappelijk onderzoek betreffende thermodynamisch meten.

Afb. 4. Verdere bijdragen van het Institut für Antriebstechnik aan het thema 'thermodynamisch meten'.

Berichten

[A] Die Berechnung physikalischer und thermodynamischer Kennwerte von Druckflüssigkeiten sowie die Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades an Pumpen unter Berücksichtigung der Thermodynamik für die Druckflüssigkeit; Dissertation Technische Hochschule Eindhoven (Niederlande) 1974 Feb.

[B] Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik, Zwischenbericht (1.1.74-28.2.75) Fachgemeinschaft Ölhydraulik u. Pneumatik VDMA-Frankfurt März 1975.

[C] Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik; Forschungsbericht (1.1.74 - 31.5.76) Fachgemeinschaft Ölhydraulik u. Pneumatik VDMA-Frankfurt Juni 1976.

[D] Praxisnahes Messverfahren zur Prüfung und Überwachung hy-

drostatischer Komponenten und Systeme durch Temperaturmessungen. Forschungsbericht (1.6.76 - 31.12.78) Fachgemeinschaft Ölhydraulik u. Pneumatik VDMA-Frankfurt Dezember 1978.

Voordrachten

[E] Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades, eine Alternative zur Methode auf mechanischer Grundlage; Fachtagung INFERT 74, Dresden 4.6. Juni 1974.

[F] Messverfahren zur vorbeugenden Instandhaltung hydrostatischer Systeme; 2. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, Aachen 17.-18. März 1976.

[G] Grondslagen voor het thermodynamisch meten aan hydrostatische componenten; KIVI-leergang Aandrijftechniek, Eindhoven 11.-12. November 1976.

[H] Thermodynamic measurements on hydrostatic components; ICMS-Conference, Paris 4-6 Mai 1977.

Cursussen

[J] Teilnahme am O + P-Gespräch 'Schadenfrüherkennung an hydraulischen Anlagen' - Veranstalter: Krausskopf Verlag Mainz, Veröffentlichung in *Ölhydraulik u. Pneumatik* 22 (1978) Nr. 3.

[K] Überwachung hydrostatischer Komponenten im System durch Temperaturmessungen; Tagesseminar im Haus d. Technik, Essen 25. Oktober 1978.

[L] Der thermische Komponententest in der Ölhydraulik; Tagesseminar im Haus der Technik, Essen, 19. September 1979.

de
an
te
me
ge
pe
co
m
en
be
oc
ge
re
va
ee
wa
ta
we
E
ka
sta
na
H
lat
da
dr
wa
da
og
wa
L
ce
tij
de
fu
De
pr
vo
nit
th
pu
no
en
te

Li
[1]
me
re
Ho
[2]
jai
W
19
[3]
dy
W

N
di
Or
M
tei
de
aa
ee
du
on

Aa



doeleinden meestal niet economisch te verantwoorden. Met behulp van de thermische test krijgt de productie-ingenieur nu ook de mogelijkheid het hydraulisch-mechanisch gedrag van zijn produkt te beproeven. Koppelt men de proefopstelling aan een microcomputer dan staat in de praktijk niets meer een automatisering van de beproeving en het aflezen van de resultaten op een beeldscherm in de weg. Iets dergelijks geldt ook voor duurloopprouwen welke zonder gevaar voor overschrijding van het meetbereik verricht kunnen worden. Het opnemen van de meetwaarden neemt ook in dit geval een microcomputer voor zijn rekening, waarbij eveneens het verloop van de resultaten grafisch op tijdbasis kan worden weergegeven.

Een bewaking bij condition monitoring van kapitaalintensieve machine-installaties ontstaat door het samenspel van de thermodynamische meetmethode en microcomputer. Het is denkbaar, dat bij een nieuwe installatie alle geoorloofde bedrijfspunten en de daarbij behorende waarden van de bedrijfsparameters doorlopen en opgeslagen worden. Zodoende verkrijgt men meetwaarden, die de gebruiker in staat stellen datgene wat de installatie op een bepaald ogenblik doet, te vergelijken met datgene wat ze moet doen.

Lokalisering van een fout bij een gecompliceerd hydrostatisch systeem is moeilijk en tijdrovend. Met de thermische meetmethode kunnen de componenten snel op hun functie c.q. hun conditie worden getest. Deze voorbeelden tonen aan, dat voor de praktische toepassing vele mogelijkheden voor de componententest en condition monitoren ontstaan door het samenspel van de thermische meetmethode en de microcomputer. De wetenschappelijke basis is nagenoeg voltooid. Nu dient het werk, dat meer en meer tot toepassing in de praktijk leidt, te worden verricht.

Literatuur

[1] Barbillion, L. u. A. Poirson: *Sur une methode thermometrique de mesure du rendement des turbines hydrauliques*; La Houille Blanche 1920, pp. 217-221.
 [2] K.J. Umpfenbach: *Kalometrisches Verfahren zur Wirkungsgradbestimmung an Wasserturbinen*; Dissertation T.H. Berlin 1937.
 [3] F.L. Brand: *Die Geschichte des thermodynamischen Verfahrens zur Messung des Wirkungsgrades von hydraulischen Ma-*

schinen; Technikgeschichte VDI Bd. 39 (1972) Nr. 3, pp 203-212.

[4] F.L. Brand: *Literaturverzeichnis von 1920 bis Aug. 1976 - Thermodynamisches Verfahren zur Wirkungsgradmessung an hydraulischen Maschinen*; Herausgegeben von VOITH-Heidenheim (1976).

[5] H. Stern: *Measuring performance of hydraulic machines*; Product Eng. Nov. 1955.

[6] W.M.J. Schlösser: *Metten aan verdringerpompen*; Dissertation T.H. Delft (1959).

[7] J.A. Foolen: *Totaalrendementsbepaling van een axiale plunjerpomp door middel van een temperatuurverschilmeting*; Interner Bericht WN 05.02.22 Labor für Antriebstechnik, T.H. Eindhoven, März 1966.

[8] W.M.J. Schlösser u. K. Witt: *Thermodynamisches Messen des Gesamtwirkungsgrades an hydrostatischen Antrieben, eine Alternative zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades auf mechanischer Grundlage*; Ölhydraulik u. Pneumatik 17 (1973) Nr. 10.

[9] K. Witt: *Druckflüssigkeiten und thermodynamisches Messen*; Ingenieur Digest Verlag Frankfurt/Main, Survey (1974).

[10] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Einführung und Übersicht*; Ölhydraulik u. Pneumatik 20 (1976) Nr. 6.

[11] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Die Thermodynamik der Druckflüssigkeiten*; Ölhydraulik u. Pneumatik 20 (1976) Nr. 9.

[12] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Hydrostatische Energie und Definitionsgleichungen für hydrostatische Energieumsetzer*; Ölhydraulik u. Pneumatik 21 (1977) Nr. 1+2.

[13] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Berechnungsgrundlagen zur Auswertung von Temperatur- und Temperatur-Druckmessungen*; Ölhydraulik u. Pneumatik 21 (1977) Nr. 3.

[14] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Beitrag zur Abschätzung der Messgenauigkeit*; Ölhydraulik u. Pneumatik 21 (1977) Nr. 9.

[15] K. Witt: *Thermodynamisches Messen in der Ölhydraulik - Messungen und Auswahlkriterien zur Methode*; Ölhydraulik u. Pneumatik 21 (1977) Nr. 12 + 22 (1978) Nr. 1.

[16] K. Witt: *Einflussfaktoren auf den thermischen Komponententest in der Ölhydraulik-Systematische Einflussfakto-*

ren; Ölhydraulik u. Pneumatik 23 (1979), Nr. 8.

[17] K. Witt: *Einflussfaktoren auf den thermischen Komponententest in der Ölhydraulik-Stochastische Einflussfaktoren*; Ölhydraulik u. Pneumatik 23 (1979) Nr. 9.

[18] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek I. Inleiding en overzicht*; Polytechnisch tijdschrift Werktuigbouw 31 (1976) Nr. 9.

[19] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek II. De thermodynamica van hydraulische vloeistoffen*; Polytechnisch tijdschrift W 31 (1976) Nr. 11 + Nr. 12.

[20] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek III. Hydrostatische energie en definitievergelijkingen voor hydrostatische energie-omzetters*; Polytechnisch tijdschrift W 32 (1977), Nr. 6.

[21] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek IV. Berekeningsmethoden voor het verwerken van temperatuurmetingen en van temperatuurdrukmetingen onder praktijkomstandigheden*; Polytechnisch tijdschrift W 33 (1978) Nr. 1.

[22] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek V. Het schatten van meetnauwkeurigheden*; Polytechnisch Tijdschrift W 33 (1978) Nr. 6.

[23] K. Witt: *Thermodynamisch meten in de hydrauliek VI. Het meten en de keuze-criteria voor meetmethoden*; Polytechnisch tijdschrift W 33 (1978) Nr. 10.

[24] K. Witt: *Invloedsfactoren op de thermische test van componenten in hydrauliek. Systematische invloedsfactoren*; Polytechnisch Tijdschrift W 35 (1980) Nr. 1.

[25] K. Witt: *Invloedsfactoren op de thermische test van componenten in de hydrauliek - Stochastische invloedsfactoren*; Polytechnisch Tijdschrift W 35 (1980) Nr. 2.

[26] W. Höfflinger: *Thermodynamische Wirkungsgradmessung an hydrostatischen Verdrängermaschinen nach dem Drossel-Drucktopf-Verfahren*; Ölhydraulik u. Pneumatik 20 (1976), Nr. 6.

[27] W. Höfflinger u. M. Dieckmann: *Messkoffer-Prototyp für direkte thermodynamische Wirkungsgradmessung an hydrostatischen Pumpen und Motoren*; Ölhydraulik u. Pneumatik 21 (1977), Nr. 3.

[28] W. Höfflinger: *Entwicklung eines Messverfahrens zur thermodynamischen Bestimmung des Wirkungsgrades ölhydraulischer Pumpen, Motoren und Getriebe*; Dissertation TU-Braunschweig Dezember 1978.