



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## ÜBER DIE INTERPOLIERBARKEITSABWEICHUNG DER KRAFTMESSBÜGEL

Nicolae FÂNTÂNARU, Dan HODOR

### DESPRE ABATEREA DE INTERPOLABILITATE ACARACTERISTICII DINAMOMETRELOR

Utilizarea unui dinamometru la alte trepte de sarcină decât cele la care a fost etalonat reclamă aplicarea metodei interpolării valorilor măsurate. În lucrare se propun relații de definire a abaterilor de interpolabilitate aferente acestui procedeu, cu aplicații la un set de 9 dinamometre ovale tip PGH.

Wenn Kraftmessbügel bei Werten verwendet werden die zwischen den beim Eichen eingestellten Kraftstufen liegen, wird üblicherweise die Methode des Interpolierens angewendet. In vorliegender Arbeit werden Beziehungen für die Bestimmung der Interpolierbarkeitsabweichung vorgeschlagen, die an Hand von Messungen an 9 ovalen Kraftmessbügel des Typs PGH erläutert werden.

Cuvinte cheie: dinamometre<sup>1</sup>, interpolarea<sup>2</sup> valorilor măsurate, imprecizia metodei

Schlüsselwörter: Dynamometern, Interpolierung der messtechni-

---

<sup>1</sup> **DINAMOMÉTRU**, *dinamometre*, s.n. Instrument pentru măsurarea forțelor. – Din fr. **dynamomètre**.

<sup>2</sup> **INTERPOLĂRE**, *interpolări*, s.f. Acțiunea de a *interpola* și rezultatul ei; (concr.) ceea ce se interpoalează; interpolație. – V. **interpola**.

**INTERPOLĂ** *vb. I. tr.* **1.** A insera cuvinte sau fraze în textul unui manuscris sau al unui act care nu aparțin textului respectiv. **2.** (*Mat.*) A intercala într-un șir de valori cunoscute unul sau mai mulți termeni determinați prin calcul. ♦ A determina valoarea unei funcții într-un punct al unui interval, cunoscând valoarea ei în extremitățile intervalului. [*fr. interpoler*, it., lat. *interpolare*].

schen Kenngrösse, Ungenauigkeit der Methode

1. In einigen Reglementierungen [1; 3; 4] ist vorgesehen dass die Kraftmessbügel bei zumindest acht gleichmässig auf den Messbereich verteilten Kraftstufen geeicht werden sollen. Andere Bestimmungen [2; 5; 6] sehen dafür zehn gleich grosse Kraftschritte von 0,1 der Höchstkraft  $F_{max}$  des Messbügels vor. Die Einstellung der Kraft [2] erfolgt entweder im "Pilgerschritt" ( $F = 0,1; 0,2; 0,1; 0,3; 0,2; 0,4; 0,3; 0,5; \dots$  von  $F_{max}$ ), oder [5; 6] zuerst steigend bis zu  $F_{max}$  und nachher abnehmend bis zu Null ( $F = 0,1; 0,2; \dots; 0,9; 1; 0,9; \dots; 0,2; 0,1$  von  $F_{max}$ ).

Die Arbeitsbedingungen zwingen oftmals die Messbügel auch bei Zwischenwerten anzuwenden, die folglich von den beim Eichen eingestellten Werten abweichen. In diesem Fall kann man die diesen Zwischenwerten entsprechende Verformung durch Interpolieren erfahren, ein Vorgang der durch zusätzliche Interpolierbarkeitsabweichungen behaftet ist. Es bestehen für ein Kraftmessbügel folglich zwei Arbeitsmöglichkeiten:

- Fall A - verhindert die Interpolierbarkeitsabweichung, schränkt jedoch die Anwendungsmöglichkeiten des Messbügels auf 19 Punkte ein;

- Fall B - ermöglicht die Anwendung der Messbügel für jedwelche Kraft innerhalb ihrer Messbereiche, das Messergebnis ist aber mit der Interpolierbarkeitsabweichung behaftet.

In vorliegender Arbeit wird versucht rechnerische Ausdrücke für die Interpolierbarkeitsabweichung der Kraftmessbügel zu bestimmen, der die Diskussionsgrundlage zwecks Übernahme in die Normen einer neuen messtechnischen Kenngrösse - der Interpolierbarkeit - bilden soll. Es wird vorausgesetzt dass:

- die Interpolierbarkeitsabweichung für die tatsächliche Charakteristik der Messbügel  $c = f(F)$  ermittelt wird, d.h. für diejenige Charakteristik die durch Kalibrieren festgelegt wurde und im Prüfschein in Tabellenform angegeben ist und nicht für eine errechnete, linearisierte oder für eine mit graphisch-analytischen Methoden bestimmte;

- die Abweichungen werden für das gesamte Verhalten des Messbügels ermittelt; die Fehler des Extensometers und Vervormungskörpers werden nicht unabhängig voneinander analysiert.

2. Um die Interpolierbarkeitsabweichung zu definieren wird vorgeschlagen, den Anzeigezuwachskoeffizienten  $\Delta c/\Delta F$  in einem den Normen [2; 5] gegenüber erweiterten Sinne zu gebrauchen. Unter dieser Bezugnahme kann die Interpolierbarkeitsabweichung als die Differenz zwischen dem tatsächlichen Koeffizienten des Anzeigezuwachses  $\Delta c/\Delta F$  (beim Eichen, Kalibrieren, festgestellt) und eine der folgenden (rechnerisch ermittelten) Grössen bestimmt werden:

$(\Delta c/\Delta F)_m$  - mittlerer Wert des Koeffizienten beim Wachsen (Abnehmen) der Anzeige während des Belastens (bzw. des Entlastens), für die gesamte Charakteristik des Messbügels;

$(\Delta c/\Delta F)_c$  - der aus der Ausgleichskurve beim Belasten (bzw. Entlasten) bestimmte Koeffizient der Anzeigesteigung bzw.-Abnahme;

$(\Delta c/\Delta F)_{cm}$  der beim Belasten, bzw. Entlasten, rechnerisch aus der Ausgleichskurve ermittelte mittlere Wert des Koeffizienten beim Zu- bzw. Abnehmen der Anzeige.

Erläuterungen dieser messtechnische Begriffe wie auch der Bestimmungformel der Interpolierbarkeitsabweichung im Verhältnis zu diesen sind in Tabelle 1 zu finden. Während die Werte von  $\Delta c/\Delta F$  und  $(\Delta c/\Delta F)_c$  von der Belastungsstufe abhängen, sind für die gesamte Charakteristik des Bügels errechneten mittleren Werte von  $(\Delta c/\Delta F)_m$  und  $(\Delta c/\Delta F)_{cm}$  unabhängig davon.

Tabelle 1

| Lfd. Zahl | Benennung der messtechnischen Kenngrösse (Die Werte beim Entlasten sind mit dem Index ' versehen) | Wert    | Mess-einheit      | Formelzeichen und Gleichungen                   |
|-----------|---|---------|-------------------|---|
| 1         | 2   | 3       | 4                 | 5   |
| 1         | Effektiver Wert der angewandten Kraft beim Belasten bzw. Entlasten des Bügels                     | absolut | daN               | F   |
| 2         | Dem Skalenendwert entsprechende Höchstbelastung des Messbügels                                    | absolut | daN               | $F_{max}$                                       |
| 3         | Das Verhältnis zwischen der jeweiligen Belastung des Messbügels und der Höchstbelastung           | relativ | $\frac{daN}{daN}$ | $F/F_{max} = 0,1; 0,2; \dots$<br>$\dots 0,9; 1$ |
| 4         | Wert der Kraftstufe beim Belasten bzw. Entlasten  | absolut | daN               | $\Delta F = 0,1 F_{max}$                        |

| 1  | 2  | 3       | 4                                  | 5   |
|----|--|---------|------------------------------------|---|
| 5  | Die bei einer Kraftstufe erhaltenen Messeinzeigen beim Belasten (bzw. Entlasten)   | absolut | Tlstr.                             | $C_1; C_2; \dots; C_6$<br>$C'_1; C'_2; \dots; C'_6$   |
| 6  | Mittlerer Anzeigewert der jeweiligen Stufe beim Belasten (Entlasten)   | absolut | Tlstr.                             | $\bar{C} = 1/6(C_1+C_2+\dots+C_6)$<br>$\bar{C}' = 1/6(C'_1+C'_2+\dots+C'_6)$  |
| 7  | Zuwachs (Abnahme) der Anzeigemittelwerte für zwei benachbarte Kraftstufen beim Belasten (Entlasten)  | absolut | Tlstr.                             | $\Delta\bar{C} = \bar{C}_{F+\Delta F} - \bar{C}_F$ ;<br>$\Delta\bar{C}' = \bar{C}_F - \bar{C}_{F-\Delta F}$   |
| 8  | Koeffizient des Anzeigezuwachses -(Abnahme) bei zwei aufeinander folgenden Kraftstufen beim Belasten (Entlasten)                                       | absolut | $\frac{\text{Tlstr.}}{\text{daN}}$ | $\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}$ ; $\left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)'$   |
| 9  | Mittlerer Wert des Koeffizienten beim Wachsen (Zunehmen) der Anzeige während des Belastens (Entlastens), für die gesamte Charakteristik des Messbügels | absolut | $\frac{\text{Tlstr.}}{\text{daN}}$ | $\left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_m = \frac{1}{9} \left[ \left(\frac{\Delta c}{\Delta F}\right)_F + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{F+\Delta F} + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{F+2\Delta F} + \dots + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{F+8\Delta F} \right]$                |
| 10 | Der aus der Ausgleichskurve beim Belasten (Entlasten) bestimmte Koeffizient der Anzeige-steigung bzw. -Abnahme   | absolut | $\frac{\text{Tlstr.}}{\text{daN}}$ | $\left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_c$ ; $\left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)'_c$  |
| 11 | Der beim Belasten bzw. Entlasten, rechnerisch aus der Ausgleichskurve ermittelte mittlere Wert des Koeffizienten beim Zu- bzw. Abnehmen der Anzeige    | absolut | $\frac{\text{Tlstr.}}{\text{daN}}$ | $\left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{cm} = \frac{1}{9} \left[ \left(\frac{\Delta c}{\Delta F}\right)_{cF} + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{c(F+\Delta F)} + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{c(F+2\Delta F)} + \dots + \left(\frac{\Delta\bar{C}}{\Delta F}\right)_{c(F+8\Delta F)} \right]$ |

3. Die drei in Punkt 2 und Tabelle 1 Pkt.12-14 zur Bestimmung der Interpolierbarkeit der Charakteristik eines Messbügels vorgeschlagenen Kriterien, wurden bei einer Gruppe von 9 ovalen Messbügeln (4 Zug- und 5 Druckbügel) des Typs PGH Kraftmessgeräte Halle/Saale (ehemalig DDR), die mit Messuhren mit einer Skaleneinteilung von 1/100 mm bestückt sind, versuchsweise angewendet. Ihre Genauigkeitsklasse ist 1 ... 2.

| 1  | 2  | 3       | 4                                  | 5  |
|----|--|---------|------------------------------------|--|
| 12 | Interpolierbarkeitsabweichung, bestimmt als Differenz zwischen dem Anzeigewachskoeffizienten und seinem, für die gesamte Charakteristik beim Belasten bzw. Entlasten bestimmten Mittelwert | absolut | $\frac{\text{Tlstr.}}{\text{daN}}$ | $a_m = \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} - \left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)_m ;$ $a'_m = \left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)' - \left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)'_m$  |
|    |  | relativ | %                                  | $a_{m\%} = \frac{\frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} - \left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)_m}{\left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)_m}$ $a'_{m\%} = \frac{\left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)' - \left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)'_m}{\left( \frac{\Delta \bar{c}}{\Delta F} \right)'_m}$ |

Die Interpolierbarkeitsabweichungen wurden auf analytischem Wege mit Hilfe der in Tabelle 1 angeführten Formeln ermittelt und für jeden geprüften Bügel eine Tabelle aufgestellt. Die Untersuchung führt zu folgenden Feststellungen:

- der Änderungsbereich der relativen Interpolierbarkeitsabweichung erstreckt sich bei den untersuchten Zugmessbügel von -1,38 ... 1,32 % ; bei den Druckmessbügel von -1,58 ... 1,22 % ;

- der Einfluss der Belastungsrichtung auf den Abweichungsbereich ist bei den Zugbügel (-0,78 ... 0,72 % bei

zunehmender und -1,38 ... 1,32 % bei abnehmender Kraft) grösser als bei den Druckbügel (-1,52 ... 1,16 % beim Belasten und -1,58 ... 1,22 % beim Entlasten);

- die Verteilung des Abweichungsbereiches um die Nulllinie ist beim Belasten der Zugmessbügel besser als beim Entlasten oder bei den Druckbügeln, deren Abweichungsbereiche vorwiegend negative Werte aufzeigen;

- bei demselben Bestimmungskriterium zeigen die Druckbügel bei zunehmender Kraft grössere Abweichungen als die Zugbügel; in abnehmender Krafrichtung ist dies nicht ersichtlich;

- eine gesetzmässige Abhängigkeit des Abweichungsbereiches von der Krafrichtung (Belasten-Entlasten) konnte nicht festgestellt werden; vielmehr unterscheidet sich diese von Gerät zu Gerät;

- im allgemeinen kann bei ein und demselben Bügel dieselbe Änderungsform der Abweichungskurve, unabhängig von dem betreffenden Bestimmungskriterium, festgestellt werden.

#### 4. Schlussfolgerungen:

- es erscheint notwendig, in einigen neueren Reglementierungen eine neue Kenngrösse - die Interpolierbarkeitsabweichung - einzu-führen;

- die Interpolierbarkeitsabweichung als neu eingeführte messtechnische Kenngrösse kann nach Tabelle 1 als Funktion des Anzeigesteigungskoeffizienten  $\Delta c/\Delta F$  bestimmt werden;

- es ist diskutabel, wie es einige Normen vorschreiben [ 3; 4; 5 ], diesen Koeffizienten bei der Bestimmung der relativen Linearitätsabweichung zu gebrauchen, da somit die Linearitätsabweichung auf eine Kurve (Ausgleichskurve) und nicht, wie es korrekt wäre, auf eine Gerade bezogen wird;

- das Bestimmen der höchstzulässigen Werte der Interpolierbarkeitsabweichung für die betreffenden Genauigkeitsklassen der Messbügel und ihr verankern in den Normen setzt umfassende Untersuchungen und Befragungen sowie eine

vorhergehende versuchsweise Anwendung voraus.

*Übersetzung aus rumänischen: Dipl.-Ing. Josef Wetzler,  
Nürnberg*

## SCHRIFTTUM

- [1] \* \* \* ASTM E 74-95 *Standard practice of calibration of force-measuring instruments for verifying the force indication of testing machines.*
- [2] \* \* \* SR EN 10002-3:1997 *Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 3: Etalonarea instrumentelor de măsurare a forței utilizate pentru verificarea mașinilor monoaxiale de încercare.*
- [3] \* \* \* ISO/F DIS 376:1999 *Mettalic materials. Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines.*
- [4] \* \* \* RS 27-62 *Ispitanie siloizmeritelnih priborov.*
- [5] \* \* \* STAS 7237-82 *Dinamometre de laborator. Etalonare. Condiții tehnice de calitate.*
- [6] Bejan M. *În lumea unităților de măsură*, ediția a doua revăzută și adăugită. Editura Academiei Române și Editura AGIR, București, 2005.
- [7] Bejan M. *Pentru o unitate în simbolistica și unitățile de măsură din Rezistența materialelor.* În: *Univers Ingineresc*, nr.9/1996, AGIR, București, 1996.
- [8] Cotuna E., Gherasimov A. *Incertitudinea măsurărilor forței în procesele industriale.* Știință și Inginerie, vol. 16, pag.111-116, Editura AGIR, București, 2009.
- [9] Gherasimov A. *Contribuții la optimizarea sistemelor de măsurare a forțelor.* Teză de doctorat, Universitatea Politehnica din Timișoara, Facultatea de Mecanică, Timișoara, 2006.
- [10] Gherasimov A. *Declararea capabilității de măsurare a etaloanelor naționale de forță ale României.* Analele Universității „Aurel Vlaicu” din Arad, ISSN 1582-3431, p.459, Arad, 2004.
- [11] Gherasimov A., Fank S., Aydemir B. *Interlaboratory comparison between Tubitak-UME Turkey and INM Romania in the field of force measurements.* *Metrologie*, vol.LVI, nr.3/2009, pag. 44-50, Editura AGIR, București, 2009.
- [12] Gherasimov A., Ghitta E. *The traceability system of force measurements in Romania.* 19th International Conference IMEKO TC 3, Cairo, 2005.
- [13] Gherasimov A. *Incertitudinea de măsurare a mașinilor uniaxiale de încercat materiale metalice.* Știință și Inginerie, vol.VI, pag.601-606, Editura AGIR, București, 2004.

- [14] Gherasimov A. *Recunoașterea internațională a etaloanelor naționale de forță ale României*. Buletinul AGIR, nr.1-2/2006, pag.108-111, București, 2006.
- [15] Rațiu M., Popescu P.P. *Tehnica măsurării forțelor*, ediția a doua, Editura didactică și pedagogică, București, 1964.

Ing. Nicolae FÂNTÂNARU  
Secretar al Comisiei Naționale Comportarea *in situ* a Construcțiilor București,  
membru AGIR și ARTENS,  
e-mail: cncisc@gmail.com

Tehn.sp. Dan HODOR  
Direcția Regională de Metrologie Legală Timișoara, Laboratorul Forțe Durități,  
e-mail: drmltmtm@yahoo.com