

## POSTUP KALIBRÁCIE

### 1. Kalibrácia mechanicko-elektrických snímačov

1.1 Kalibráciou sa určia základné merateľné vlastnosti mechanicko-elektrického snímača, ktorými sú najmä citlivosť mechanicko-elektrického snímača v celom meracom rozsahu, odchýlky od linearity, opakovateľnosť meraní a určenie ich zmeny počas životnosti mechanicko-elektrického snímača.

1.1.1 O mechanicko-elektrickom snímači relatívneho tlaku sa vedú pravidelné záznamy najmä o počte vystrelených nábojov, maximálnom zaznamenanom tlaku nábojov a nožnej poruchy.

1.1.2 Kalibrácia mechanicko-elektrického snímača sa vykonáva

- a) najmenej po každých 200 výstreloch počas prvých 600 výstrelův a neskôr po každých 500 výstreloch; frekvenciu kalibrácie treba prispôbiť úrovni požadovanej neistoty,
- b) ak sa zistí odchýlka väčšia ako 4 % pri stredných hodnotách získaných pri skúškach realizovaných pri súčasnom použití viacerých mechanicko-elektrických snímačov rovnakého typu,
- c) ak sa zistia iné odchýlky ako v písmene a) a b) alebo vady v priebehu streľby, ktorými je
  - 1c. rozptyl merania,
  - 2c. chýbajúce zobrazenie hodnôt,
  - 3c. únik plynův.

1.2 Predbežný postup kalibrácie mechanicko-elektrických snímačov

1.2.1 Na zistenie hodnoty prírastku nábojového zosilňovača sa pred každým kalibračným cyklom vykoná kalibrácia elektrických veličín pri použití referenčného zdroja napätia a referenčnej kapacity. Pred inštaláciou sa musí odmerať izolačný odpor snímača a káblov s použitím elektromeru (AVO meter).

1.2.2 Ak je izolačný odpor  $R_i$

- a)  $\geq 1 \times 10^{12} \Omega$ , možno vykonať kalibráciu snímača,
- b)  $< 1 \times 10^{12} \Omega$ , konektor sa očistí freónom alebo éterom alebo sa snímač temperuje na teplotu  $\geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ; následne sa  $R_i$  opätovne skontroluje a ak napriek tomu je izolačný odpor menší ako  $1 \times 10^{12} \Omega$ , tak je snímač nepoužitelný.

1.2.3 Na kalibračnom zariadení sa použijú tesnenia a adaptéry, ktoré odporúča a dodáva výrobca snímača. Je potrebné zamedziť vzniku vzduchových bublín v hydraulickom systéme kalibračného zariadenia, pričom je potrebné vyčistiť hydraulický systém a ubezpečiť sa, že olej je viditeľný v puzdre snímača.

1.2.4 Pred kalibráciou sa mechanicko-elektrický snímač s pomocou kalibračného zariadenia nastaví na maximálny tlak očakávaný pri skúškach.

### 2. Statická kalibrácia

2.1 Pre statickú kalibráciu sú charakteristiky meracieho reťazca

- a) referenčný tlak  $\pm 0,01 \text{ } \%$  max,
- b) kalibrovaný nábojový zosilňovač
  - 1b. linearita  $\leq 0,1 \text{ } \%$  z koncovej hodnoty,
  - 2b. odchýlka  $\leq 0,05 \text{ pC/s}$  pri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a  $< 60 \text{ } \%$  RH,
  - 3b. chyba  $\leq 0,5 \text{ } \%$  a
- c) zariadenie na zber a vyhodnotenie dát  $\pm 0,1 \text{ } \%$  max,

- d) celková neistota merania  $\leq \pm 1 \%$ .
- 2.2 Kalibrácia mechanicko-elektrického snímača sa vykoná
- využitím najmenej 100 bar pre tlak do 2 000 bar a najmenej 500 bar pre tlak, väčší ako 2000 bar,
  - do 1,1-násobku väčšieho tlaku, ako je tlak skúšaného streliva, ktorý je uvedený v tabuľkách stálej komisie,
  - meraním tlaku najmenej v piatich bodoch z celkového počtu siedmich najmenej nameraných bodov.
- 2.3 Meranie sa vykoná najmenej trikrát na každom meranom bode tak, že možno určiť strednú hodnotu výstupného náboja.
- 2.4 Počas jedného cyklu sa vytvorí päť tlakových stavov v nadväznosti na zväčšujúce sa hodnoty tlaku, s návratom na atmosférický tlak medzi každým meracím bodom.
- 2.5 Každé napätie, ktoré zodpovedá zostatkovému tlaku a prírastkom tlaku sa zaznamenáva z dôvodu určenia kalibračnej krivky, odchýlky od linearity, opakovateľnosti počas kalibrácie a citlivosti každého kalibrovaného snímača.
- 2.6 Pre každý bod merania a kanál merania sa určí elektrický náboj  $Q$  ako rozdiel funkcie napätia  $V_1$  pri zaťažení a zvyškového napätia  $V_0$  odčítaného, keď hodnota tlaku je nula a zosilnenia nábojového zosilňovača  $G$  definovaného na začiatku kalibrácie, takto:

$$Q = (V_1 - V_0) \times G$$

### 3. Kontinuálna kalibrácia

- 3.1 Tlak stúpa kontinuálne až na vopred určený maximálny tlak a následne je znížený na nulovú hodnotu atmosférického tlaku. Kontinuálne stúpanie tlaku sa generuje automaticky pomocou motora alebo ručne pomocou závitového tlakového generátora. Elektrický náboj generovaný referenčným snímačom sa priebežne zaznamená a tlak referenčného snímača sa vypočítava. Výsledný tlak je známy v každom bode kalibračnej krivky.
- 3.2 Podľa kontinuálneho merania elektrického náboja kalibrovaného snímača a s použitím známeho tlaku získaného referenčným snímačom sa vypočíta citlivosť kalibrovaného snímača.
- 3.3 Pre kontinuálnu kalibráciu sú charakteristiky meracieho reťazca
- generátor kontinuálneho tlaku, pričom rozsah tlaku sa nachádza v skúšobnom rozsahu snímača, ktoré má hodnotu  $+ 10 \%$ ,
  - referenčný snímač s certifikátom vydaným akreditovaným kalibračným laboratóriom,
    - rozsah tlaku prispôsobený maximálnemu rozsahu snímača v skúšobnom rozsahu,
    - linearita  $\leq 0,3 \%$  FSO,
    - vlastná frekvencia  $\geq 1$  kHz,
  - 2 ks nábojových zosilňovačov alebo kompletný merací reťazec s certifikátom vydaným akreditovaným kalibračným laboratóriom,
  - výstupné signály z referenčného snímača a kalibrovaného snímača sú zvyčajne privádzané a upravované v presných nábojových zosilňovačoch s parametrami
    - horná pásmová priepustnosť off/vypnuté, časová konštanta = dlhá,  $\tau > 100\,000$  s,
    - dolná pásmová priepustnosť off/vypnuté,
    - rozsah kalibrovaný rozsah  $+ cca 10 \%$ ,
    - citlivosť referenčného snímača, ktorá je uvedená v certifikáte vydanom akreditovaným kalibračným laboratóriom,

5d. nominálna citlivosť skúšaného snímača je uvedená v technickej dokumentácii kalibrovaného snímača,

6d. odchýlka  $\leq 0,05$  pC/s pri 25 °C ( $\pm 1$  °C) a  $< 60$  % RH.

e) systém pre zber a vyhodnocovanie dát pre analógové výstupné signály z nábojových zosilňovačov, ktoré sú zaznamenané systémom na zber a vyhodnocovanie dát. Celková neistota systému musí byť  $\leq \pm 0,1$  %.

3.4 Merací reťazec pre kalibráciu je zobrazený na obrázku č. 11.

Obrázok č. 11



3.5 Kontinuálna kalibrácia mechanicko-elektrických snímačov tlakov a prístrojové vybavenie

3.5.1 prístrojové vybavenie pre kontinuálnu kalibráciu mechanicko-elektrických snímačov pozostáva z tlakového zvažovacieho cyklu, ktorý musí mať polovičný sínus alebo generovaný profil. Generovaný profil musí nepretržite konštantne rásť.

3.5.2 Vlastnosti tlakového zvažovacieho cyklu sú:

- približne 15 s do maximálneho tlaku,
- najmenej dva predkalibračné cykly,
- jeden kalibračný cykly.

3.5.3 Presný mechanicko-elektrický referenčný snímač je kalibrovaný v akreditovanom kalibračnom laboratóriu.

3.5.4 Nábojové zosilňovače a zariadenia na spracovanie signálu sú kalibrované v akreditovanom kalibračnom laboratóriu. Systém môže byť kalibrovaný pomocou generátora náboja s certifikátom vydaným akreditovaným kalibračným laboratóriom.

3.5.5 Zber nameraných dát sa uskutočňuje analógovo-digitálnym prevodníkom so zodpovedajúcimi technickými parametrami.

3.5.6 Spracovanie a vyhodnotenie nameraných dát pozostáva z

- filtrovania a kvantifikácie nameraných dát,
- výpočtu kalibračných parametrov,
- kontroly výsledkov kalibrácie vo vzťahu k technickým špecifikáciám uvedeným v technickej dokumentácii kalibrovaného snímača,
- zadokumentovania citlivosti a linearitu pre daný kalibrovaný rozsah.

4. Dynamická kalibrácia

4.1 Dynamický tlak sa generuje pomocou meracej jednotky, do ktorej je zapojený referenčný snímač a kalibrovaný snímač.

4.2 Elektrický náboj tvorený referenčným snímačom sa permanentne zaznamenáva. A následne sa z tohto záznamu vypočíta tlak. Týmto spôsobom sa dá odčítať tlak v každom bode krivky. Podľa vypočítaného maximálneho tlaku, ktorý vyvoláva referenčný snímač, sa určí citlivosť kalibrovaného snímača.

4.3 Pre dynamickú kalibráciu platia charakteristiky meracieho reťazca

4.3.1 generátor dynamického tlaku, pri ktorom rozsah tlaku je adekvátny najväčšej hodnote snímača v meracom rozsahu + 10 %,

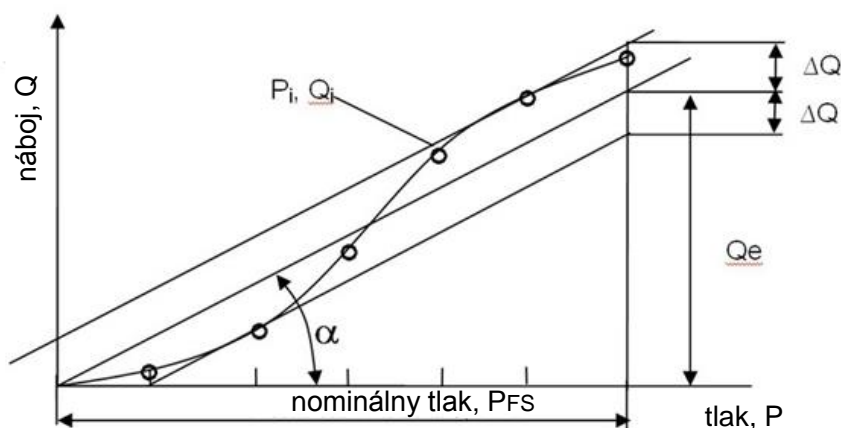
- 4.3.2 referenčný snímač s certifikátom vydaným akreditovaným kalibračným laboratóriom, pri ktorom
- rozsah tlaku je adekvátny najväčšej hodnote snímača v skúšobnom rozsahu,
  - linearita  $\leq 0,3 \%$  FSO,
  - vlastná frekvencia  $\geq 150$  kHz.
- 4.3.3 2 ks nábojových zosilňovačov alebo kompletný merací reťazec vždy s certifikátom vydaným akreditovaným kalibračným laboratóriom.
- 4.4 Výstupné signály z referenčného snímača a kalibrovaného snímača sú privádzané a upravované v presných nábojových zosilňovačoch s najmenšími parametrami:
- horná pásmová priepustnosť: off/vypnuté,
  - dolná pásmová priepustnosť: off/vypnuté,
  - rozsah: kalibrovaný rozsah + cca 10 %,
  - citlivosť referenčného snímača je uvedená v certifikáte vydanom akreditovaným kalibračným laboratóriom,
  - citlivosť skúšaného snímača: nominálna citlivosť uvedená v technickej dokumentácii kalibrovaného snímača,
  - odchýlka  $\leq 0,05$  pC/s pri  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a  $< 60 \%$  RH.
- 4.5 Systém pre zber a vyhodnocovanie dát pre analógové výstupné signály z nábojových zosilňovačov, ktoré sú zaznamenané systémom na zber a vyhodnocovanie dát. Celková neistota systému musí byť  $\leq \pm 0,1 \%$ .
- 4.6 Schematický diagram meracieho reťazca podľa bodu 3.4 platí aj pre dynamickú kalibráciu.

## 5. Určenie citlivosti

### 5.1 Citlivosť sa určí

- lineárnou regresiou alebo algoritmom pásma tolerancie; v grafe č. 1 je znázornený výpočet citlivosti a linearity mechanicko-elektrického snímača

Graf č. 1



- individuálna citlivosť sa vypočíta

$$E_i = \frac{Q_i}{P_i}$$

kde

$E_i$  – citlivosť v definovanom bode  $i$  [pC/bar]

$P_i$  – tlak v definovanom bode  $i$  [bar]

$Q_i$  – náboj v definovanom bode  $i$  [pC]

5.2 Strednú citlivosť možno určiť

- a) algoritmom pásma tolerancie,
- b) lineárnou regresiou.

5.3 Pre algoritmus pásma tolerancie sa citlivosť vypočíta ako stredná priamka tolerančného pásma medzi dvoma priamkami ohraničujúcimi všetky namerané body, pričom tieto priamky sú v najmenšej vzdialenosti a medzi nimi sa nachádza priamka prechádzajúca začiatkom súradníc. Gradient ( $\tan \alpha$ ) tejto priamky je vyjadrením citlivosti určený vzťahom:

$$E_q = \tan \alpha \text{ alebo } E_q = Q_e / P_{FS}$$

kde

$Q_e$  – stredný najväčší náboj [pC]

$P_{FS}$  – nominálny tlak [bar]

$E_q$  – stredná citlivosť [pC/bar]

5.4 Lineárna regresia sa vypočíta:

$$E_q = \frac{\sum_{i=1}^n P(i) \times Q(i)}{\sum_{i=1}^n (P(i))^2}$$

kde

$E_q$  – stredná citlivosť [pC/bar],

$P(i)$  – tlak v definovanom bode  $i$  [bar],

$Q(i)$  – náboj v definovanom bode  $i$  [pC],

$n$  – počet bodov.

6. Určenie linearity

6.1 Základom pre výpočet algoritmu pásma tolerancie je vzdialenosť medzi dvomi vonkajšími priamkami ( $2 \times \Delta Q$ ) vyjadrený vzorcom

$$L = \frac{\Delta Q}{Q_e} \times 100 \% \quad L = \text{linearita} (\%)$$

6.2 Výpočet linearity lineárnej regresie je vyjadrený vzorcom

$$L = \Delta Q_{max} / Q_{FS} \times 100 \% \quad L = \text{linearita} (\%)$$

$\Delta Q_{max} = Q_{(i)} - E_q \times P_{(i)}$  používa sa maximálna hodnota

$$\bar{Q}_{FS} = E_q \times P_{FS}$$

$P_{FS}$  = menovitý tlak [bar]

7. Odchýlka merania

7.1 Odchýlka merania pri kalibrácii je odchýlka merania

- a) väčšia ako 2 %, ktorá sa vyskytuje počas merania pri rovnakom tlaku,
- b) linearity 1 % alebo menšia pri mechanicko-elektrickom snímači; mechanicko-elektrický snímač, ktorý má väčšiu odchýlku merania, je nepoužiteľný,
- c) snímača nameraná počas kalibrácie.

7.2 Ak mechanicko-elektrický snímač vykazuje odchýlky uvedené v bode 7.1, je nepoužiteľný. Pred vyradením mechanicko-elektrického snímača z činnosti sa skúška opakuje najmenej dvakrát po vyčistení a vysušení mechanicko-elektrického snímača pri teplote 65 °C. Následne sa vykoná kontrola meracieho systému z dôvodu overenia, že merací systém je stále v požadovanom rozsahu presnosti. Mechanicko-elektrický snímač sa vyradí z činnosti, ak opätovne vykazuje chyby.

## 8. Neistota merania

8.1 Zariadenia meracieho reťazca okrem tlakomerných hlavní sa musia pravidelne podrobiť kalibrácii s cieľom udržať celkovú neistotu merania pod 3 %, čo je dôležité najmä pre meranie maximálnej hodnoty tlaku.

8.2 Snímač, tlakomerná hlaveň, zariadenie pre zber a spracovanie dát, operačný postup, obslužný personál, sú zdrojom chýb merania.

## 9. Vstupný kalibračný signál

9.1 Zariadenie používané na meranie výstupu mechanicko-elektrických snímačov sa kalibruje privedením napätia na známy kondenzátor, ktorý vygeneruje referenčný elektrický náboj. Referenčný elektrický náboj zodpovedá známej úrovni tlaku.

9.2 Zariadenie meracieho reťazca musí byť kalibrované, ak sa aktualizuje software alebo ak sa zmení systém na zber dát.

9.3 Na získanie presných výsledkov merania sa uskutoční kalibrácia zariadení meracieho reťazca vrátane filtra (Bessel alebo Butterworth).

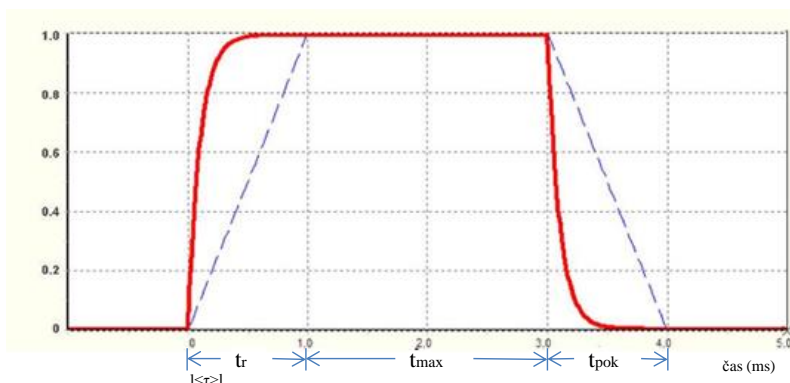
9.4 Merací reťazec musí mať známy signál napätia, ktorý treba aplikovať na tento merací reťazec, pričom čas trvania signálu je od 1 ms do 10 ms. Veľkosť náboja zodpovedá signálu, ktorý musí byť zmeraný v čase nárastu signálu, kedy sa nezohľadňuje prechyt spôsobený filtrom pre hodnoty od 0,2 ms do 1 ms.

9.5 Zobrazená hodnota  $P_{max}$  musí byť rovnaká s aplikovanou kalibračnou hodnotou. Použije sa rovnaký merací reťazec a merací software ako pri normálnom meraní.

9.6 Absolútna hodnota odchýlky medzi vstupným signálom a výstupnou hodnotou signálu meracieho reťazca je najviac  $\leq 0,5 \%$ .

9.7 Podmienky pre presnú kalibráciu sú graficky znázornené v grafoch č. 2 až 4.

Graf. č. 2 Štvorcový signál



Vysvetlivky:

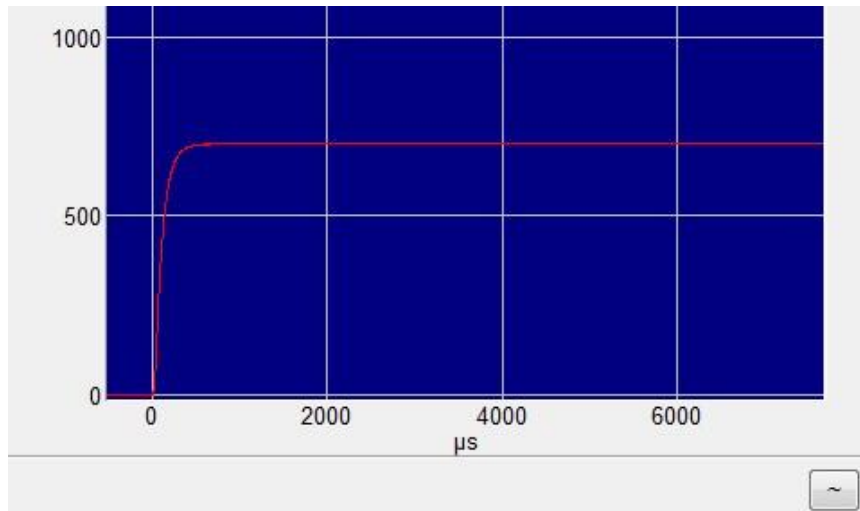
$t_r$  – čas rastu signálu od 0 % do 100 % v čase 0,2 ms do 1 ms,

$t_{\max}$  – čas pri ktorom sa dosiahne najväčší signál (100%) v čase 1 ms do 10 ms,

$t_{\text{pok}}$  – čas, pri ktorom signál klesá zo 100 % po 0 %,

$\tau$  – čas, pri ktorom signál dosahuje hodnoty od 0 % po 63 % v čase od 0,02 ms do 0,1 ms.

Graf č. 3 Skokový signál



Graf č. 4 Sínusový signál

