



ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT
Okružní 31, 638 00 Brno

METROLOGICKÝ PŘEDPIS

MP 016

**MĚŘIDLA TLAKU V PNEUMATIKÁCH
SILNIČNÍCH MOTOROVÝCH VOZIDEL**

POSTUP ZKOUŠENÍ PŘI OVĚŘOVÁNÍ

Vydání: červenec 2019

**PŘEDPIS JE ZÁVAZNÝ PRO ZAMĚSTNANCE
ČESKÉHO METROLOGICKÉHO INSTITUTU**

**V PŘÍPADĚ METROLOGICKÝCH STŘEDISEK AUTORIZOVANÝCH
PRO OVĚŘOVÁNÍ MĚŘIDEL TLAKU V PNEUMATIKÁCH SILNIČNÍCH
MOTOROVÝCH VOZIDEL ZAKLÁDÁ POUŽITÍ TOHOTO PŘEDPISU
PŘEDPOKLAD UPLATNĚNÍ POŽADAVKŮ
A ŘÁDNÉ IMPLEMENTACE METOD ZKOUŠENÍ
STANOVENÝCH RELEVANTNÍMI PRÁVNĚ ZÁVAZNÝMI PŘEDPISY**

Úvod

Tento metrologický předpis (dále jen MP) navazuje jako prováděcí technický dokument na opatření obecné povahy, které vydal ČMI ke stanovení metrologických a technických požadavků na stanovená měřidla a metod jejich zkoušení při schvalování typu a ověřování ve smyslu svého zmocnění v § 14 odst. 1 a 24d zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon“).

MP stanovuje postup zkoušení měřidel tlaku v pneumatikách silničních motorových vozidel (dále jen „měřidel tlaku v pneumatikách“) při jejich ověřování a doplňuje detailní informace potřebné ke správné a jednotné interpretaci příslušného opatření obecné povahy při provádění a vyhodnocování zkoušek prováděných při ověřování měřidel tlaku v pneumatikách. Pro zaměstnance ČMI provádějící ověřování měřidel tlaku v pneumatikách je tento MP závazný. V případě ověřování měřidel tlaku v pneumatikách prováděného subjekty, které jsou k této činnosti autorizovány podle § 16 zákona, zakládá použití MP předpoklad uplatnění požadavků na měřidla tlaku v pneumatikách a předpoklad řádné implementace metod zkoušení stanovených příslušným opatřením obecné povahy.

Cílem tohoto MP je shromáždit v jednom dokumentu všechny relevantní informace potřebné pro výkon ověřování měřidel tlaku v pneumatikách.

1 Všeobecná ustanovení

Prvotní ověření měřidel tlaku v pneumatikách se provádí na základě národního schválení typu provedeného ČMI podle zákona a kapitol 6 a 7 opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C021 (dále jen OOP), a to v případě, že příslušný certifikát o schválení typu je platný a měřidlo splňuje technické a metrologické požadavky stanovené v OOP.

Prvotní EHS ověření měřidel tlaku v pneumatikách se provádí v případě, že příslušný certifikát o EHS schválení typu je platný a měřidlo splňuje technické a metrologické požadavky stanovené vyhláškou č. 337/2000 Sb.

Ověření měřidla tlaku v pneumatikách uvedeného do provozu (tj. po uplynutí platnosti předchozího ověření či v jiném případě zániku předchozího ověření) je provedeno v případě, že výsledky provedených posouzení a zkoušek prokazují splnění technických a metrologických požadavků stanovených v OOP (ve smyslu OOP se při tomto ověřování uplatní metrologické a technické požadavky, které byly rozhodné při jejich uvedení do oběhu).

2 Související legislativní dokumenty, normativní a ostatní předpisy

Legislativní dokumenty:

Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 262/2000 Sb., kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 264/2000 Sb., o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování, ve znění pozdějších předpisů

Vyhláška č. 337/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřidla označovaná značkou EHS používaná pro měření tlaku vzduchu v pneumatikách silničních vozidel, ve znění pozdějších předpisů.

Touto vyhláškou je do české legislativy implementována směrnice Rady 86/217/EHS z 26. května 1986 týkající se měřidel tlaku vzduchu v pneumatikách silničních vozidel, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška č. 332/2000 Sb., kterou se stanoví některé postupy při schvalování typu a ověřování stanovených měřidel označovaných značkou EHS, ve znění pozdějších předpisů

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C021, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně metod zkoušení při schvalování typu a při ověřování měřidel tlaku v pneumatikách silničních motorových vozidel s výjimkou měřidel tlaku používaných výlučně pro měření tlaku v pneumatikách uživateli motorových vozidel.

POZNÁMKA: Certifikáty EHS schválení typu vydané na základě vyhlášky 337/2000 Sb. zůstávají dle čl. IV vyhlášky č. 125/2015 Sb. v platnosti až do doby ukončení platnosti těchto certifikátů.

Technické předpisy:

ČSN EN 12645 Měřidla tlaku – Přístroje pro kontrolu tlaku a/nebo huštění pneumatik motorových vozidel – Metrologie, požadavky a zkoušení (25 7013)

EA 4/02 M Vyjádření nejistoty měření při kalibraci

Ostatní:

TNI 01 0115 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) (01 0115)

Mezinárodní slovník legální metrologie (VIML)¹

3 Pojmy, termíny, definice a použité zkratky

Pro účely tohoto MP jsou obecně použity pojmy, termíny a definice uvedené ve VIM, VIML, OOP a dokumentaci uvedené v kapitole 2.

4 Zkušební vybavení

Ke zkoušce metrologických vlastností musí být použito následující vybavení:

- etalon tlaku vhodného fyzikálního principu s měřicím rozsahem odpovídajícím měřicímu rozsahu zkoušených měřidel a s rozšířenou nejistotou měření (pro $k = 2$) menší nebo nejvýše se rovnající $\frac{1}{4}$ největší dovolené chyby (MPE) zkoušeného měřidla;
- teploměr pro měření teploty při zkoušce s měřicím rozsahem minimálně $(-10 \text{ až } +40) \text{ } ^\circ\text{C}$ a s rozlišením indikačního zařízení minimálně $0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- pomocná zařízení, např. zdroj tlaku, regulátor tlaku, tlaková vedení, šroubení.

Měřidla použitá v rámci zkušebního vybavení musí být platně metrologicky navázána.

POZNÁMKA: Při volbě referenčního etalonu tlaku musí být zohledněn vliv změny teploty okolního prostředí při funkčních zkouškách na jeho metrologické charakteristiky, tento vliv musí být dokumentován.

¹ Dokument dostupný na www.unmz.cz

5 Podmínky v průběhu zkoušek

5.1 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Při zkoušce přesnosti a stanovení chyby hystereze musí být teplota okolního prostředí v intervalu od -10 °C do $+40\text{ °C}$.

Změny teploty okolí v průběhu zkoušky nesmí překročit 5 °C .

Vibrace a otřesy při měření nesmí způsobit větší rozkmit ukazovatele než $1/10$ největší dovolené chyby (MPE) měřidla tlaku v pneumatikách.

5.2 Ostatní podmínky

Pracovní poloha zkoušeného měřidla musí odpovídat poloze specifikované výrobcem, respektive poloze uvedené v příslušném certifikátu schválení typu měřidla.

Tlak v měřidle musí být generován nekorozivním plynným tlakovým médiem. Doporučuje se suchý čistý vzduch nebo dusík.

POZNÁMKA: Požadavek se pro účely zkoušení měřidel tlaku v pneumatikách plynným tlakovým médiem považuje automaticky za splněný. Vliv je pro daný účel a podmínky zkoušek zanedbatelný.

Odchylka úrovně tlakového připojení zkoušeného měřidla od referenční úrovně tlakového připojení etalonu nesmí při zkoušení způsobit chybu větší než $1/10$ největší dovolené chyby (MPE) měřidla tlaku v pneumatikách.

Těsnost systému „etalon – zkoušené měřidlo“ (zkoušeno na horní mezi měřicího rozsahu) musí být taková, aby pokles tlaku v průběhu odečtu údaje na etalonu a zkoušeném měřidle nezpůsobil chybu větší než $1/10$ největší dovolené chyby (MPE) měřidla tlaku v pneumatikách.

6 Postup zkoušek

Proces ověřování měřidla tlaku v pneumatikách se skládá z vizuální prohlídky a funkčních zkoušek zahrnujících zkoušku přesnosti a zkoušku hystereze.

6.1 Vizuální prohlídka

Při vizuální prohlídce se kontroluje, zda:

- a) se měřidlo předložené k ověření shoduje se schváleným typem,
- b) měřidlo není mechanicky poškozeno, zda nejsou uvolněny některé jeho části, či zda měřidlo nenese stopy koroze,
- c) označení, nápisy a jejich provedení odpovídají údajům a požadavkům uvedeným v certifikátu schválení typu měřidla.

Pokud měřidlo nevyhoví požadavkům vnější prohlídky, dále se nezkouší.

6.2 Zajištění podmínek funkčních zkoušek

Před prováděním funkčních zkoušek musí být zajištěny podmínky specifikované v článcích 5.1 a 5.2.

Zkoušené měřidlo musí být instalováno do pracovní polohy v souladu s článkem 5.2.

Pokud nejsou splněny požadavky na zajištění podmínek zkoušek, dále se nezkouší.

6.3 Funkční zkoušky

Zkouška přesnosti a zkouška chyby hystereze se provádí metodou přímého porovnání veličiny indikované zkoušeným měřidlem s hodnotou indikovanou etalonem.

Před zahájením funkčních zkoušek se měřidlo alespoň dvakrát plynule zatíží na hodnotu horní meze měřicího rozsahu.

6.3.1 Zkouška přesnosti

Zkouška přesnosti se provádí jednou sérií měření nejméně v pěti rovnoměrně rozmístěných bodech v měřicím rozsahu zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách.

Horní mez měřicího rozsahu a nula musí být povinně zkušebními body. V každém zkušebním bodě musí být měřidlo zkoušeno při stoupajícím a při klesajícím tlaku (s výjimkou měřidel, která nejsou určena k měření klesajících tlaků).

POZNÁMKA: V případě, že referenční hodnotě etalonu na horní mezi měřicího rozsahu měřidla tlaku odpovídá indikace hodnoty tlaku mimo stupnici číselníku deformačního tlakoměru nebo mimo aktivní zobrazení hodnot tlaku displejem, nahrazuje se poslední zkušební bod zkušebním bodem blízko horní meze měřicího rozsahu zkoušeného měřidla takovou referenční hodnotou tlaku, při níž je indikace zkoušeného měřidla uvnitř mezních hodnot stupnice číselníku deformačního tlakoměru nebo v oblasti aktivního zobrazení hodnot tlaku na displeji zkoušeného měřidla.

Na horní mezi měřicího rozsahu se měřidlo ponechá po zkoušce stoupajícím tlakem a před zkouškou klesajícím tlakem 10 minut zatížené tlakem odpovídajícím hodnotě horní meze měřicího rozsahu.

Maximální odchylky skutečně generovaných tlaků od zvolených referenčních hodnot tlaku nesmí překročit $\pm 0,1$ bar (10 kPa).

Je-li zkoušené měřidlo tlaku v pneumatikách konstrukčně řešeno jako deformační tlakoměr, musí být čtení hodnot tlaku prováděno po lehkém poklepu na pouzdro měřidla. Čtení hodnot na stupnici měřidla musí být interpolováno v mezích $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{10}$ vzdálenosti mezi dvěma značkami stupnice.

POZNÁMKA: Z praktických důvodů se doporučuje interpolace dílku stupnice na 4, 5 nebo 10 částí.

V každém tlakovém zkušebním bodě se zaznamenává aktuální teplota okolního prostředí.

Chyby měřidla v jednotlivých zkušebních bodech nesmí překročit:

- největší dovolené chyby (MPE) uvedené v příloze 1 při skutečné teplotě měření v referenčním rozsahu teploty okolí od $+15$ °C do $+25$ °C, nebo
- největší dovolené chyby (MPE) uvedené v příloze 1 korigované o největší dovolené chyby způsobené teplotou podle přílohy 2 v rozsahu teploty okolí od -10 °C do $+15$ °C a od $+25$ °C do $+40$ °C.

6.3.2 Stanovení chyby hystereze

Tato zkouška se provádí pouze na měřidlech, která jsou ve smyslu příslušného certifikátu o schválení typu určena k běžnému měření klesajících tlaků.

Postup zkoušky je identický se zkouškou přesnosti dle článku 6.3.1.

Stanovení chyby hystereze se provádí porovnáním hodnot tlaku zjištěných při stoupajícím a při klesajícím tlaku nejméně v pěti rovnoměrně rozmístěných zkušebních bodech v měřicím rozsahu tlaku (včetně bodů dolní a horní meze měřicího rozsahu).

Před poklesem tlaku musí být měřidlo tlaku v pneumatikách po dobu 10 minut udržováno na tlaku, který se rovná horní mezi měřicího rozsahu.

Chyba hystereze nesmí překročit hodnotu největší dovolené chyby uvedené v příloze 1.

7 Vyhodnocení zkoušek

7.1 Záznam hodnot při zkouškách

Při zkouškách dle článků 6.3.1 a 6.3.2 se zaznamenávají následující naměřené hodnoty:

P_{ez} indikace etalonu tlaku při zkoušce stoupajícím tlakem;

P_{mz} indikace zkoušeného měřidla při zkoušce stoupajícím tlakem;

P_{eo} indikace etalonu tlaku při zkoušce klesajícím tlakem;

P_{mo} indikace zkoušeného měřidla při zkoušce klesajícím tlakem;

t_z teplota okolního prostředí ve zkoušeném tlakovém bodě při zkoušce stoupajícím tlakem;

t_o teplota okolního prostředí ve zkoušeném tlakovém bodě při zkoušce klesajícím tlakem.

V případě, že lze etalonovým zařízením generovat přímo konvenční hodnotu tlaku P_e , omezuje se záznam na následující naměřené hodnoty:

P_z indikace zkoušeného měřidla při zkoušce stoupajícím tlakem vztažená ke konvenční hodnotě P_e ;

P_o indikace zkoušeného měřidla při zkoušce klesajícím tlakem vztažená ke konvenční hodnotě P_e ;

t_z teplota okolního prostředí ve zkoušeném tlakovém bodě při zkoušce stoupajícím tlakem;

t_o teplota okolního prostředí ve zkoušeném tlakovém bodě při zkoušce klesajícím tlakem.

Pro doložení dodržení postupu zkoušení, zajištění podmínek při zkouškách, záznam naměřených hodnot a jejich vyhodnocení lze použít formu zpracování záznamu o měření uvedenou v přílohách 3 a 4.

7.2 Základní chyba zkoušeného měřidla

Rozdíl mezi hodnotou indikace zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách a hodnotou etalonu tlaku (základní chyba D) nesmí být v žádném zkušebním bodě větší než hodnota největší dovolené chyby měřidla stanovená v příloze 1.

Základní chyba měřidla tlaku v pneumatikách se stanoví dle následujícího vztahu:

$$|D| \leq (MPE + T), \quad (1)$$

kde MPE je největší dovolená chyba a přídavná teplotní chyba T se určí ze vztahů:

$$T = (15 - t) T_N \quad \text{pro} \quad -10 \text{ °C} \leq t < +15 \text{ °C},$$

$$T = 0 \quad \text{pro} \quad +15 \text{ °C} \leq t \leq +25 \text{ °C},$$

$$T = (t - 25) T_N \quad \text{pro} \quad +25 \text{ °C} < t \leq +40 \text{ °C},$$

kde je T_N teplotní koeficient specifikovaný v příloze 2, t je teplota okolí.

7.3 Chyba hystereze zkoušeného měřidla

Rozdíl mezi údaji indikovanými zkoušeným měřidlem ve shodném tlakovém zkušebním bodě při zkoušce stoupajícím a klesajícím tlakem (chyba hystereze ΔH) nesmí svou absolutní hodnotou přesahovat hodnotu největší dovolené chyby měřidla (MPE) specifikované v příloze 1.

V každém zkušebním bodě musí být splněna následující podmínka:

$$|\Delta H| \leq MPE$$

8 Úřední značky, jejich umístění a dokumentace ověření

Měřidla tlaku v pneumatikách, která vyhověla podmínkám ověření, se označí jednou či více úředními značkami způsobem a na místech určených v certifikátu o schválení typu měřidla, resp. certifikátu EHS schválení typu měřidla. Na základě žádosti zákazníka může být vystaven dokument *Potvrzení o ověření stanoveného měřidla*.

POZNÁMKA: V případě měřidel tlaku v pneumatikách ověřovaných ČMI musí být jedna úřední značka tzv. transakční úřední značkou ČMI.

U měřidel tlaku v pneumatikách, která nevyhověla podmínkám ověření, se vystaví dokument *Rozhodnutí o zamítnutí ověření stanoveného měřidla*. Vzor dokumentu je uveden v metrologickém předpisu MP 002².

9 Přílohy

- Příloha 1: Největší dovolené chyby měřidel tlaku v pneumatikách pro referenční rozsah teploty okolí od +15 °C do +25 °C (normativní)
- Příloha 2: Největší dovolené chyby při teplotách mimo referenční rozsah teploty okolí (normativní)
- Příloha 3: Záznam o měření – formulář (informativní)
- Příloha 4: Postup stanovení nejistoty měření pro měřidla tlaku v pneumatikách s analogovým indikačním zařízením
- Příloha 5: Postup stanovení nejistoty měření pro měřidla tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením

10 Účinnost

Toto vydání předpisu nabývá účinnosti dnem 8. 7. 2019.

RNDr. Pavel Klenovský v. r.

generální ředitel Českého metrologického institutu

² Dokument je dostupný na www.cmi.cz

MP 016

Za správnost:

Zpracovatel předpisu:

Ing. Václav Sedlák, Český metrologický institut

Odborný garant předpisu v ČMI:

Ing. Václav Sedlák

Příloha 1 (normativní)

Největší dovolené chyby měřidel tlaku v pneumatikách pro referenční rozsah teploty okolí od +15 °C do +25 °C

Pro účely tohoto MP platí pro referenční rozsah teploty okolí od +15 °C do +25 °C největší dovolené chyby (MPE) měřidel tlaku v pneumatikách uvedené v OOP, článku 2.3 a následujících tabulkách 1 a 2:

Tabulka 1 – Největší dovolené chyby v barech

Měřený tlak p_m , v barech	Největší dovolené chyby, v barech
$p_m \leq 4$	0,08
$4 < p_m \leq 10$	0,16
$p_m > 10$	0,25

Tabulka 2 – Největší dovolené chyby v kPa

Měřený tlak p_m , v kPa	Největší dovolené chyby, v kPa
$p_m \leq 400$	8
$400 < p_m \leq 1\,000$	16
$p_m > 1\,000$	25

Příloha 2 (normativní)

Největší dovolené chyby při teplotách mimo referenční rozsah teploty okolí

Tabulka 3 – Největší dovolené chyby mimo referenční rozsah teploty okolí

Měřený tlak p_m		Největší dovolené chyby v závislosti na teplotě okolí t_{amb}	
		$t_{amb} < 15\text{ °C}$	$t_{amb} > 25\text{ °C}$
$p_m \leq$	4 bar (400 kPa)	$(0,005 \cdot (15 - t_{amb}) + 0,08)$ bar $(0,5 \cdot (15 - t_{amb}) + 8)$ kPa	$(0,005 \cdot (t_{amb} - 25) + 0,08)$ bar $(0,5 \cdot (t_{amb} - 25) + 8)$ kPa
4 bar (400 kPa) < $p_m \leq$	10 bar (1 000 kPa)	$(0,005 \cdot (15 - t_{amb}) + 0,16)$ bar $(0,5 \cdot (15 - t_{amb}) + 16)$ kPa	$(0,005 \cdot (t_{amb} - 25) + 0,16)$ bar $(0,5 \cdot (t_{amb} - 25) + 16)$ kPa
$p_m >$	10 bar (1 000 kPa)	$(0,005 \cdot (15 - t_{amb}) + 0,25)$ bar $(0,5 \cdot (15 - t_{amb}) + 25)$ kPa	$(0,005 \cdot (t_{amb} - 25) + 0,25)$ bar $(0,5 \cdot (t_{amb} - 25) + 25)$ kPa

Tabulka 4 – Změny největší dovolené chyby způsobené teplotou, v barech

Měřený tlak p_m , v barech	Teplotní koeficient T_N
$p_m \leq 4$	0,005 bar/°C
$4 < p_m \leq 10$	0,005 bar/°C
$p_m > 10$	0,005 bar/°C

Tabulka 5 – Změny největší dovolené chyby způsobené teplotou, v kPa

Měřený tlak p_m , v kPa	Teplotní koeficient T_N
$p_m \leq 400$	0,5 kPa/°C
$4 < p_m \leq 1\ 000$	0,5 kPa/°C
$p_m > 1\ 000$	0,5 kPa/°C

Příloha 3 (informativní)Záznam o měření (titulní strana) – formulář³

Název a adresa subjektu (AMS):		Číslo záznamu o měření
ZÁZNAM O MĚŘENÍ		
Zákazník:		
Místo provedení zkoušky:		
POPIS A IDENTIFIKACE MĚŘIDLA		
Druh měřidla:	Měřidlo tlaku v pneumatikách silničních motorových vozidel	
Výrobce:		
Typ:		
Výrobní číslo:		
Měřicí rozsah:		
Značka schválení typu:		
POUŽITÉ ETALONY A MĚŘIDLA (typ, výrobní/identifikační číslo, číslo kalibračního listu)		
Číslicový tlakoměr:		
Měřidlo teploty:		
Použité tlakové médium:	Vzduch ^{*)} Dusík ^{*)} Jiné:	
Pracovní postup:	MP 016	
Metoda měření:	Dle OOP č. 0111-OOP-C021	
Vnější prohlídka (včetně posouzení stupnice, ukazatele, přípojovacího čepu, označení a nápisi): Měřidlo splňuje technické požadavky stanovené v OOP č. 0111-OOP-C021: ANO / NE^{*)}		
Zjištěné neshody:		
HODNOCENÍ ZAJIŠTĚNÍ PODMÍNEK ZKOUŠEK		
Vibrace a otřesy při měření nezpůsobují větší rozkmit ukazovatele než $1/10$ největší dovolené chyby zkoušeného měřidla:	ANO / NE^{*)}	
Těsnost systému etalon–zkoušené měřidlo (na horní mezi měřicího rozsahu) je taková, že pokles tlaku v průběhu odečtu indikace etalonu a zkoušeném měřidle nezpůsobuje chybu větší než $1/10$ největší dovolené chyby zkoušeného měřidla:	ANO / NE^{*)}	
VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK		
Měřidlo tlaku v pneumatikách vyhovuje / nevyhovuje^{*)}		
Potvrzení o ověření stanoveného měřidla vystaveno: NE / ANO^{*)} č.		
Zkoušku provedl:	Datum měření:	

*) Nehodící se škrtnout.

Strana 1/2

³ Tento formulář je dostupný na www.cmi.cz

Příloha 4 (informativní)

Postup stanovení nejistoty měření pro měřidla tlaku v pneumatikách s analogovým indikačním zařízením

P4.1 Vstupní údaje

Měřidlo tlaku v pneumatikách s analogovým indikačním zařízením (deformační tlakoměr).

Měřicí rozsah (R): (0 až 12) bar, přetlak

Hodnota dílku stupnice (d): 0,1 bar

Rozdělení dílku stupnice: 5 částí

Referenční teplota: 20 °C

Použitý etalonový tlakoměr:

Měřicí rozsah: (0 až 20) bar, přetlak

Přesnost^{*)}:
 0,02 bar v rozsahu $0 \leq p_m \leq 4$ bar
 0,04 bar v rozsahu $4 \text{ bar} < p_m \leq 10$ bar
 0,062 5 bar v rozsahu $p_m > 10$ bar

^{*)} Přesnost je v daném příkladu vyjádřena jako největší dovolená chyba etalonového zařízení dle požadavků příslušného OOP a příloh 1 a 2 tohoto MP. Tento přístup se doporučuje použít pro stanovení standardní nejistoty etalonu v programech mezilaboratorních porovnávacích zkoušek.

P4.2 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Teplota okolního prostředí v průběhu zkoušek: (17 až 21) °C

Při měření byla splněna podmínka, aby změna teploty během zkoušek nepřesáhla 5 °C.

P4.3 Vyhodnocení měření

Měření bylo provedeno ve třech měřicích cyklech zahrnujících měření při stoupajícím a klesajícím tlaku.

POZNÁMKA: V tabulkách naměřených hodnot a v tabulkách výsledků měření je v informativních přílohách pro označení zkoušky při stoupajícím respektive klesajícím tlaku použitý termín „zatěžování“ respektive „odlehčování“ (pro odlišení hodnot je u značení použitý dolní index „z“ resp. „o“).

Bylo zvoleno 7 zkušebních bodů rovnoměrně rozložených v celém měřicím rozsahu.

Na horní mezi měřicího rozsahu bylo měřidlo vždy ponecháno 10 minut v souladu s požadavkem OOP (a ČSN EN 12645).

Tabulka 6 – Naměřené hodnoty

Konvenční hodnota tlaku	1. série měření		2. série měření		3. série měření	
	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování
(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
2,00	1,98	2,02	1,98	2,02	1,98	2,04
4,00	3,96	4,02	3,96	4,02	3,98	4,04
6,00	5,98	6,06	5,98	6,06	6,00	6,08
8,00	7,96	8,04	7,96	8,04	7,98	8,06
10,00	9,94	10,00	9,94	10,00	9,96	10,02
12,00	11,88	11,90	11,88	11,90	11,90	11,92

P4.3.1 Stanovení průměrných hodnot z opakovaných měření

Aritmetický průměr hodnot naměřených při zkouškách stoupajícím tlakem \bar{P}_z resp. při zkouškách klesajícím tlakem \bar{P}_o se stanoví dle následujících vztahů:

$$\bar{P}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{zi} \quad (2) \qquad \bar{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{oi} \quad (3)$$

Příklad stanovení průměrné hodnoty z opakovaných zkoušek stoupajícím a klesajícím tlakem u zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách pro zkušební bod 6 barů:

$$\bar{P}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{zi} = \frac{1}{3} (5,98 + 5,98 + 6,00) = 5,987 \text{ bar}$$

$$\bar{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{oi} = \frac{1}{3} (6,06 + 6,06 + 6,08) = 6,067 \text{ bar}$$

P4.3.2 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A

Při vyhodnocení nejistoty měření způsobem A se nejprve stanoví standardní nejistoty měření, zvlášť pro zkoušku stoupajícím tlakem a pro zkoušku klesajícím tlakem. Standardní nejistoty měření označené u_{Az} a u_{Ao} charakterizují opakovatelnost v jednotlivých zkušebních bodech. Jejich číselné hodnoty jsou dány vztahy:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{zi} - \bar{P}_z)^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

$$u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{oi} - \bar{P}_o)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

kde

$P_{zi}, P_{oi} \dots$ jsou hodnoty tlaku na zkoušeném měřidle při zkoušce stoupajícím (klesajícím) tlakem; $n \dots$ počet měření ($n = 3$).

Příklad vyhodnocení standardní nejistoty měření měřidla tlaku v pneumatikách pro zkušební bod 6 barů z naměřených hodnot při zkouškách stoupajícím a klesajícím tlakem:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{zi} - \bar{P}_z)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(5,98 - 5,987)^2 + (5,98 - 5,987)^2 + (6,00 - 5,987)^2}{3(3-1)}} = 0,007 \text{ bar}$$

$$u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{oi} - \bar{P}_o)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(6,06 - 6,067)^2 + (6,06 - 6,067)^2 + (6,08 - 6,067)^2}{3(3-1)}} = 0,007 \text{ bar}$$

P4.3.3 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B

Při vyhodnocení nejistoty měření způsobem B se nejprve určí zdroje nejistot, které ovlivňují měření. K jednotlivým zdrojům – příspěvkům k nejistotě měření se stanoví odhad hodnoty nejistoty Δz_{\max} . Stanoví se typ rozdělení podle charakteru mezí z literatury. Typ rozdělení je charakterizován koeficientem k_C .

Obecný vztah pro vyhodnocení nejistoty měření způsobem B ze zdroje příspěvku i je následující:

$$u_{Bi} = \frac{\Delta z_{\max}}{v} \cdot k_C \quad (6)$$

V případě měřidel tlaku v pneumatikách silničních motorových vozidel s analogovým indikačním zařízením se doporučuje uvažovat minimálně následující zdroje nejistot měření:

- nejistota měření etalonového tlakoměru;
- rozlišitelnost indikačního zařízení zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách;
- teplotní chyba zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách;
- odlehlost referenčních úrovní etalonového tlakoměru a zkoušeného měřidla.

Následně se určí číselné hodnoty jednotlivých zdrojů nejistot, u kterých se předpokládá rovnoměrné rozdělení.

Nejistota měření etalonového tlakoměru

Nejistota měření etalonového tlakoměru je uvedena v kalibračním listě použitého etalonu nebo se určí z největší dovolené chyby etalonového tlakoměru v daném zkušebním bodě. V případě, že je v kalibračním listě použitého etalonu uvedena nejistota měření etalonu, je třeba dbát na to, v jakém tvaru je tato nejistota měření uvedena. Jedná-li se o rozšířenou nejistotu měření U_{et} , musí zde být uveden i koeficient rozšíření k_{et} , pro který byla tato nejistota vypočítána. Nejistota měření etalonového tlakoměru se potom určí dle vztahu:

$$u_{et} = \frac{U_{et}}{k_{et}} \quad (7)$$

V případě, že kalibrační list s uvedenou nejistotou měření etalonu není k dispozici, určí se jeho nejistota u_{et} z největší dovolené chyby etalonového tlakoměru v daném tlakovém bodu δ_{et} . Nejistota měření etalonového tlakoměru je potom dána vztahem:

$$u_{et} = \frac{\delta_{et}}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

Pro účely prokazování odborné způsobilosti autorizovaných metrologických středisek se doporučuje provést stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru z největších dovolených chyb etalonového zařízení dle požadavků platného OOP.

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 6 barů:

Největší dovolené chyby pro etalon tlaku dle požadavků OOP:

0,02 bar	v rozsahu	$0 \leq p_m \leq 4$ bar
0,04 bar	v rozsahu	$4 \text{ bar} < p_m \leq 10$ bar
0,062 5 bar	v rozsahu	$p_m > 10$ bar

Ve zkušebním bodě 6 barů musí mít etalon tlaku největší dovolenou chybu maximálně 0,04 bar, standardní nejistota etalonového tlakoměru tedy bude mít následující hodnotu:

$$u_{et} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná rozlišitelností kalibrovaného měřidla

Standardní nejistota měření u_d , charakterizující chybu odečtu zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách, se určí vydělením $1/4$, $1/5$ nebo $1/10$ velikosti dílku stupnice $\sqrt{3}$. Rozdělení dílku stupnice na $1/4$, $1/5$ nebo $1/10$ zvolí pracovník odečítající indikace zkoušeného měřidla v závislosti na velikosti tohoto dílku, na provedení číselníku respektive stupnice, na provedení ukazatele a v neposlední řadě v závislosti na vlastní subjektivní schopnosti při čtení a interpolaci dílku.

Standardní nejistota u_d je tedy rovna:

$$u_d = \frac{d}{r\sqrt{3}} \quad (9)$$

kde

d je velikost dílku stupnice kalibrovaného deformačního tlakoměru;

r počet částí, na který je při vlastním zkoušení dílek stupnice rozdělen.

Pro řešený příklad ($d = 0,1$ bar, dělený na 5 částí) nabývá hodnota standardní nejistoty měření daná rozlišitelností následující hodnoty ve všech zkušebních bodech:

$$u_d = \frac{d}{r\sqrt{3}} = \frac{0,1}{5\sqrt{3}} = 0,012 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná teplotní chybou zkoušeného měřidla

Tato standardní nejistota měření se určuje z teplotní chyby zkoušeného měřidla. Teplotní chyba je definována vztahem:

$$\delta_t = k_t R(t - t_{\text{ref}}) \quad (10)$$

kde

k_t je teplotní součinitel zkoušeného měřidla;

R měřicí rozpětí zkoušeného měřidla;

t teplota okolního prostředí při kalibraci;

t_{ref} referenční teplota (20 °C).

Nejistota měření daná teplotní chybou zkoušeného měřidla se potom určí dle vztahu:

$$u_t = \frac{\delta_t}{\sqrt{3}} \quad (11)$$

V případě měřidel tlaku v pneumatikách lze pro určení teplotního součinitele použít hodnoty specifikované v příloze 2 tohoto MP. Pro zjednodušení lze použít maximální hodnotu teplotního vlivu pro celý rozsah zkoušeného měřidla, tj. 0,05 % z horní meze měřicího rozsahu na 1 °C.

POZNÁMKA: Alternativně lze v případě, kdy indikačním zařízením je deformační tlakoměr, použít při stanovení teplotního součinitele hodnoty uvedené v normativním dokumentu ČSN EN 837-1. Zde je uvedena hodnota teplotního součinitele 0,04 % R/°C pro deformační tlakoměry s pružnou (Bourdonovou) trubicí třídy přesnosti 0,1 až 4; tento druh snímacího prvku se schopností zajišťovat měření v uváděném rozmezí tříd přesnosti má v případě konstrukčních provedení měřidel tlaku v pneumatikách s analogovým indikačním zařízením největší zastoupení.

Pro řešený příklad nabývá standardní nejistota měření daná teplotní chybou zkoušeného měřidla následující hodnoty ve všech zkušebních bodech:

$$u_t = \frac{0,05\% \cdot R \cdot (t - t_{\text{ref}})}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005 \cdot 12 \cdot 3}{\sqrt{3}} = 0,010 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná odlehlostí referenčních úrovní zkoušeného a etalonového tlakoměru

Nejistota měření daná odlehlostí referenčních úrovní je nejistota, kterou je třeba obecně započítat v případě, že referenční úrovně zkoušeného a etalonového měřidla jsou rozdílné. Tato složka nejistoty měření je dána zjednodušeným vztahem:

$$u_h = \frac{h\rho g}{\sqrt{3}} \quad (12)$$

kde

h je odlehlost (rozdíl) referenčních úrovní zkoušeného a etalonového tlakoměru;

ρ hustota tlakového média;

g hodnota místního tíhového zrychlení.

V případě měřidel tlaku v pneumatikách, kdy se jedná o zkoušení plynným médiem maximálně do hodnoty přetlaku 12 bar, je však možné tuto nejistotu zcela zanedbat.

Výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B

Tabulka 7 – Bilanční tabulka odhadu příspěvků nejistot

Zdroj nejistoty, komentář	Odhad mezí, nejistota	Typ rozdělení, koeficient ν	Koeficient citlivosti k_C	Standardní nejistota
Etalon – u_{et} Dle největších dovolených chyb etalonu tlaku specifikovaných OOP.	$p = 6$ bar $\delta_{max} = 0,04$ bar $\Delta z_{max} = 0,04$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,023 bar
Zkoušené měřidlo – u_d Příspěvek nejistoty daný rozlišovací schopností měřidla – velikost dílku d , který lze následně rozdělit na r částí.	$d = 0,1$ bar $r = 5$ $\Delta z_{max} = d/r = 0,02$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,012 bar
Rozdíl skutečné teploty při měření od referenční – u_t Příspěvek nejistoty daný teplotní chybou zkoušeného měřidla – teplotní součinitel měřidla k_t , měřicí rozpětí měřidla R , změna teploty okolního prostředí při zkoušce t , referenční teplota t_{ref} .	$k_t = 0,05$ % $R/^\circ C$ $R = 12$ bar $t = (20 \pm 3)$ $^\circ C$ $t_{ref} = 20$ $^\circ C$ $\Delta z_{max} = k_t R (t - t_{ref})$ $\Delta z_{max} = 0,018$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,010 bar

Po určení všech dílčích nejistot měření pro vyhodnocení způsobem B, které jsou uvažovány při zkoušení (kalibraci), se tyto nejistoty sloučí do tzv. výsledné nejistoty měření vyhodnocené způsobem B. Toto sloučení se provede pomocí Gaussova zákona o šíření nejistot měření. Výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B je tedy dána vztahem:

$$u_B = \sqrt{u_{et}^2 + u_d^2 + u_t^2} \quad (13)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 6 barů nabývá výsledná standardní nejistota měření vyhodnocená způsobem B následující hodnoty:

$$u_B = \sqrt{u_{et}^2 + u_d^2 + u_t^2} = \sqrt{0,023^2 + 0,012^2 + 0,010^2} = 0,028 \text{ bar}$$

P4.3.4 Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota se určí pro každý zkušební bod. Tato nejistota měření vznikne sloučením standardní nejistoty měření vyhodnocené způsobem A a výsledné nejistoty měření vyhodnocené způsobem B pro daný zkušební bod prostřednictvím následujícího vztahu:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (14)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku nabývá kombinovaná standardní nejistota následující hodnoty:

$$u_C = \sqrt{u_{Az}^2 + u_B^2} = \sqrt{0,007^2 + 0,028^2} = 0,029 \text{ bar}$$

P4.3.5 Rozšířená nejistota měření

Rozšířená nejistota měření se určí pro každý zkušební bod dle vztahu:

$$U = k \times u_C \quad (15)$$

kde k je koeficient rozšíření.

Koeficient rozšíření může být stanoven více způsoby. Níže jsou popsány základní postupy v souladu s dokumentem EA-4/02.

P4.4 Použití Welch-Satterthwaitova vztahu (stanovení efektivních stupňů volnosti)

Koeficient rozšíření k se volí tak, aby odpovídal pravděpodobnosti pokrytí 95 %. Pro tento koeficient platí $k = 2$ pro počet opakování měření $n \geq 10$. V případě, že je počet opakování měření $n < 10$, určí se koeficient rozšíření k dle následující tabulky:

Tabulka 8 – Koeficienty rozšíření dle počtu efektivních stupňů volnosti

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

Odhad počtu efektivních stupňů volnosti ν_{eff} se provede dle Welch-Satterthwaitova vztahu:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (16)$$

kde

u_i ($i = 1, 2, \dots, N$) je příspěvek k nejistotě stanovení chyby zkoušeného měřidla od vstupní veličiny x_i (považují se za nekorelované),

$\nu_i = n - 1$ jsou stupně volnosti pro standardní nejistoty měření vyhodnocené způsobem A, pro nejistoty měření vyhodnocené způsobem B se předpokládá $\nu_i \rightarrow \infty$.

Pokud vypočítaná hodnota ν_{eff} není celé číslo, provede se její zaokrouhlení na nejbližší menší hodnotu uvedenou v tabulce.

POZNÁMKA: Je-li vypočítaná hodnota $\nu_{\text{eff}} > 200$, lze položit $k = 2,00$.

Stejným způsobem se stanoví rozšířená nejistota měření pro všechny zkušební body.

Číselná hodnota výsledku měření se při závěrečném vyjádření standardně zaokrouhluje na pozici nejméně platné číslice nejistoty vztahující se k tomuto výsledku. Při zaokrouhlování je třeba používat běžných pravidel pro zaokrouhlování podle ČSN ISO 80000-1, přílohy B; pokud by však zaokrouhlení vedlo ke snížení hodnoty nejistoty o více než 5 %, je třeba použít zaokrouhlení nahoru.

POZNÁMKA: Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice.

V případě řešeného příkladu jsou pro zkušební bod 6 barů (při stoupajícím tlaku) k dispozici čtyři složky nejistoty (u_{Az} , u_{et} , u_d , u_t).

Pomocí Welch-Satterthwaitova vztahu se určí počet efektivních stupňů volnosti:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}} = \frac{0,029^4}{\frac{0,007^4}{2} + \frac{0,023^4}{\infty} + \frac{0,012^4}{\infty} + \frac{0,010^4}{\infty}} = \frac{0,029^4}{\frac{0,007^4}{2}} = 589,2$$

Nejbližší nižší celé hodnotě efektivního stupně volnosti 50 odpovídá dle výše uvedené tabulky hodnota $k = 2,05$. Dosazením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2,05 \cdot 0,029 = 0,059 \text{ bar}$$

Nicméně pro $v_{\text{eff}} > 200$ lze již položit koeficient rozšíření $k = 2,00$, potom $U = 0,058 \text{ bar}$.

Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice. Při závěrečném vyjádření se číselná hodnota rozšířené nejistoty zaokrouhlí na pozici odpovídající uváděné indikaci zkoušeného měřidla. Při zaokrouhlování se použije běžných pravidel pro zaokrouhlování podle ČSN ISO 80000-1, přílohy B; v případě že by zaokrouhlení vedlo ke snížení hodnoty nejistoty o více než 5 %, se použije zaokrouhlení nahoru.

Rozšířená nejistota měření po zaokrouhlení: $U \cong 0,06 \text{ bar}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 9:

Tabulka 9 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota tlaku zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
bar	bar	bar
0,00	0,02 ± 0,04	0,02 ± 0,04
2,00	1,98 ± 0,04	2,03 ± 0,04
4,00	3,97 ± 0,04	4,03 ± 0,04
6,00	5,99 ± 0,06	6,07 ± 0,06
8,00	7,97 ± 0,06	8,05 ± 0,06
10,00	9,95 ± 0,06	10,01 ± 0,06
12,00	11,89 ± 0,08	11,91 ± 0,08

P4.5 Aplikace pravidla o jedné dominantní složce nejistoty měření

Jedná se o alternativní a zjednodušený postup pro stanovení koeficientu rozšíření využívající pravidlo o jedné dominantní složce nejistoty měření. Toto pravidlo je uplatnitelné, pokud je splněna podmínka, že poměr kvadratického součtu všech nedominantních složek nejistoty měření vůči dominantní složce nejistoty měření je menší než 0,3.

POZNÁMKA: Toto pravidlo zohledňuje pouze složky nejistot měření pro vyhodnocení způsobem B (nejistota měření vyhodnocená způsobem A zde není relevantní).

V případě pozitivního výsledku tohoto kritéria se uplatní předmětné pravidlo a ke koeficientu rozšíření k se přiřadí hodnota odpovídající typu rozdělení dominantní složky nejistoty měření (v případě dominantní složky s rovnoměrným rozdělením $k = 1,65$).

V případě negativního výsledku tohoto kritéria lze aplikovat centrální limitní větu, která říká, že pokud několik složek nejistoty (3 a více) odvozených z nezávislých veličin majících rozdělení s „běžným“ průběhem (normální, rovnoměrné) srovnatelně přispívá k nejistotě odhadu (jinak řečeno žádná není významně majoritní), pak lze předpokládat, že rozdělení hodnot je normální. V takovém případě lze přiřadit koeficientu rozšíření hodnotu 2.

V případě řešeného příkladu pro zkušební bod 6 barů (při stoupajícím tlaku) nabývá kritérium pro posouzení dominance jedné nejistoty následující hodnoty:

$$\frac{\sqrt{u_d^2 + u_t^2}}{u_{et}} = \frac{\sqrt{0,012^2 + 0,010^2}}{0,023} = 0,68$$

V tomto případě nebyla splněna podmínka pro aplikaci pravidla o jedné dominantní složce nejistoty měření, nicméně dle centrální limitní věty lze usoudit, že výsledné rozdělení bude mít normální rozdělení a koeficientu rozšíření může být přiřazena hodnota 2.

Dosazením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,029 = 0,058 \text{ bar}$$

Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice. Při závěrečném vyjádření číselnou hodnotu rozšířené nejistoty se zaokrouhlí na pozici odpovídající uváděné indikaci zkoušeného měřidla. Při zaokrouhlování se použijí pravidla pro zaokrouhlování; v případě že by zaokrouhlení vedlo ke snížení hodnoty nejistoty o více než 5 %, použije se zaokrouhlení nahoru.

Rozšířená nejistota měření po zaokrouhlení: $U \cong 0,06 \text{ bar}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 10:

Tabulka 10 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota tlaku zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
bar	bar	bar
0,00	0,02 ± 0,04	0,02 ± 0,04
2,00	1,98 ± 0,04	2,03 ± 0,04
4,00	3,97 ± 0,04	4,03 ± 0,04
6,00	5,99 ± 0,06	6,07 ± 0,06
8,00	7,97 ± 0,06	8,05 ± 0,06
10,00	9,95 ± 0,06	10,01 ± 0,06
12,00	11,89 ± 0,08	11,91 ± 0,08

Příloha 5 (informativní)

Postup stanovení nejistoty měření pro měřidla tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením

P5.1 Vstupní údaje

Měřidlo tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením (deformační tlakoměr).

Měřicí rozsah (R):	(0 až 10) bar, přetlak
Hodnota rozlišení indikace na displeji (d):	0,1 bar (v pracovním režimu měřidla)
Hodnota rozlišení indikace na displeji (d):	0,02 bar (v kalibračním režimu měřidla)
Referenční teplota:	20 °C

Použitý etalonový tlakoměr:

Měřicí rozsah:	(0 až 20) bar, přetlak
Přesnost ^{*)} :	0,02 bar v rozsahu $0 \leq p_m \leq 4$ bar
	0,04 bar v rozsahu $4 \text{ bar} < p_m \leq 10$ bar

^{*)} Přesnost je v daném příkladě vyjádřena jako největší dovolená chyba etalonového zařízení dle požadavků příslušného OOP a příloh 1 a 2 tohoto MP. Tento přístup se doporučuje použít pro stanovení standardní nejistoty etalonu v programech mezilaboratorních porovnávacích zkoušek.

P5.2 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Teplota okolního prostředí v průběhu zkoušek: (17 až 21) °C

Při měření byla splněna podmínka, aby změna teploty během zkoušek nepřesáhla 5 °C.

P5.3 Vyhodnocení měření

Měření bylo provedeno ve třech měřicích cyklech zahrnujících měření při stoupajícím a klesajícím tlaku. Bylo zvoleno 6 zkušebních bodů rovnoměrně rozložených v celém měřicím rozsahu. Na horní mezi měřicího rozsahu bylo měřidlo vždy ponecháno 10 minut v souladu s požadavkem OOP (a ČSN EN 12645).

Tabulka 11 – Naměřené hodnoty

Konvenční hodnota tlaku	1. série měření		2. série měření		3. série měření	
	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování
(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)	(bar)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
2,00	2,00	2,02	2,00	2,04	2,00	2,02
4,00	4,00	4,04	4,02	4,06	4,02	4,04
6,00	6,02	6,06	6,02	6,08	6,04	6,08
8,00	8,04	8,06	8,06	8,08	8,04	8,06
9,90	9,98	10,00	10,00	10,00	9,98	10,00

P5.3.1 Stanovení průměrných hodnot z opakovaných měření

Aritmetický průměr hodnot naměřených při zkouškách stoupajícím tlakem \bar{P}_z resp. při zkouškách klesajícím tlakem \bar{P}_o se stanoví dle vztahů (1) a (2).

Příklad stanovení průměrné hodnoty z opakovaných zkoušek stoupajícím a klesajícím tlakem u zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách pro zkušební bod 6 barů:

$$\bar{P}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{zi} = \frac{1}{3} (6,02 + 6,02 + 6,04) = 6,027 \text{ bar}$$

$$\bar{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{oi} = \frac{1}{3} (6,06 + 6,06 + 6,08) = 6,067 \text{ bar}$$

P5.3.2 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A

Při vyhodnocení nejistoty měření způsobem A se nejprve stanoví standardní nejistoty měření, zvláště pro zkoušku stoupajícím tlakem a pro zkoušku klesajícím tlakem. Standardní nejistoty měření označené u_{Az} a u_{Ao} charakterizují opakovatelnost v jednotlivých zkušebních bodech. Jejich číselné hodnoty jsou dány vztahy (4) a (5).

Příklad vyhodnocení standardní nejistoty měření měřidla tlaku v pneumatikách pro zkušební bod 6 barů z naměřených hodnot při zkouškách stoupajícím a klesajícím tlakem:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{zi} - \bar{P}_z)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(6,02 - 6,027)^2 + (6,02 - 6,027)^2 + (6,04 - 6,027)^2}{3(3-1)}} = 0,007 \text{ bar}$$

$$u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{oi} - \bar{P}_o)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{(6,06 - 6,067)^2 + (6,06 - 6,067)^2 + (6,08 - 6,067)^2}{3(3-1)}} = 0,007 \text{ bar}$$

P5.3.3 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B

V případě měřidel tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením se doporučuje uvažovat minimálně následující zdroje nejistot:

- nejistota měření etalonového tlakoměru,
- rozlišitelnost indikačního zařízení zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách,
- teplotní chyba zkoušeného měřidla tlaku v pneumatikách,
- odlehlost referenčních úrovní etalonového tlakoměru a zkoušeného měřidla.

Následně se určí číselné hodnoty jednotlivých zdrojů nejistot, u kterých se předpokládá rovnoměrné rozdělení.

Nejistota měření etalonového tlakoměru

Teorie stanovení nejistoty měření etalonového tlakoměru je stejná jako v příkladu uvedeném v příloze 4 tohoto MP.

Pro účely prokazování odborné způsobilosti autorizovaných metrologických středisek se doporučuje provést stanovení standardní nejistoty etalonového tlakoměru z největších dovolených chyb etalonového zařízení dle požadavků platného OOP.

Příklad stanovení standardní nejistoty etalonového tlakoměru pro zkušební bod 6 barů:

Největší dovolené chyby pro etalon tlaku dle požadavků OOP:

0,02 bar v rozsahu $0 \leq p_m \leq 4$ bar

0,04 bar v rozsahu $4 \text{ bar} < p_m \leq 10$ bar

Ve zkušebním bodě 6 barů musí mít etalon tlaku největší dovolenou chybu maximálně 0,04 bar, standardní nejistota etalonového tlakoměru tedy bude mít následující hodnotu:

$$u_{\text{et}} = \frac{0,04}{\sqrt{3}} = 0,023 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná rozlišitelností kalibrovaného měřidla

Standardní nejistota měření u_d je dána hodnotou posledního platného digitu zobrazovaného na displeji měřidla tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením. Pro určení její velikosti se použije vztah:

$$u_d = \frac{d}{2\sqrt{3}},$$

kde d je hodnota posledního digitu indikačního zařízení měřidla tlaku v pneumatikách.

Pro řešený příklad ($d = 0,02$ bar – kalibrační režim měřidla) nabývá hodnota standardní nejistoty měření daná rozlišitelností následující hodnoty ve všech zkušebních bodech:

$$u_d = \frac{d}{2\sqrt{3}} = \frac{0,02}{2\sqrt{3}} = 0,006 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná teplotní chybou zkoušeného měřidla

V případě měřidel tlaku v pneumatikách s digitálním indikačním zařízením lze pro určení teplotního součinitele opět použít hodnoty specifikované v příloze 2 tohoto MP. Pro zjednodušení lze použít maximální hodnotu teplotního vlivu pro celý rozsah zkoušeného měřidla $0,005 \text{ bar}/^\circ\text{C}$, tj. $0,05 \%$ z horní meze měřicího rozsahu na 1°C .

Pro řešený příklad nabývá standardní nejistota měření daná teplotní chybou zkoušeného měřidla následující hodnoty ve všech zkušebních bodech:

$$u_t = \frac{0,05\% \cdot R \cdot (t - t_{\text{ref}})}{\sqrt{3}} = \frac{0,0005 \cdot 10 \cdot 4}{\sqrt{3}} = 0,012 \text{ bar}$$

Nejistota měření daná odlehlostí referenčních úrovní zkoušeného a etalonového tlakoměru

V případě měřidel tlaku v pneumatikách, která jsou zkoušena plynným médiem maximálně do hodnoty přetlaku 12 bar, je možné tuto nejistotu zcela zanedbat.

Výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B

Tabulka 12 – Bilanční tabulka odhadu příspěvků nejistot

Zdroj nejistoty, komentář	Odhad mezí, nejistota	Typ rozdělení, koeficient ν	Koeficient citlivosti k_C	Standardní nejistota
Etalon – u_{et} Dle největších dovolených chyb etalonu tlaku specifikovaných OOP.	$p = 6$ bar $\delta_{\max} = 0,04$ bar $\Delta z_{\max} = 0,04$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,023 bar
Zkoušené měřidlo – u_d Příspěvek nejistoty daný rozlišovací schopností měřidla – velikost dílku d , který lze následně rozdělit na r částí.	$d = 0,2$ bar $\Delta z_{\max} = d/2 = 0,01$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,006 bar
Rozdíl skutečné teploty při měření od referenční – u_t Příspěvek nejistoty daný teplotní chybou zkoušeného měřidla – teplotní součinitel měřidla k_t , měřicí rozpětí měřidla R , změna teploty okolního prostředí při zkoušce t , referenční teplota t_{ref} .	$k_t = 0,05 \% R/^\circ C$ $R = 10$ bar $t = (20 \pm 4) ^\circ C$ $t_{ref} = 20 ^\circ C$ $\Delta z_{\max} = k_t R (t - t_{ref})$ $\Delta z_{\max} = 0,020$ bar	rovnoměrné $\nu = \sqrt{3}$	1	0,012 bar

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 6 barů nabývá výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B následující hodnoty:

$$u_B = \sqrt{u_{et}^2 + u_d^2 + u_t^2} = \sqrt{0,023^2 + 0,006^2 + 0,012^2} = 0,027 \text{ bar}$$

P5.3.4 Kombinovaná standardní nejistota

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku nabývá kombinovaná standardní nejistota následující hodnoty:

$$u_C = \sqrt{u_{Az}^2 + u_B^2} = \sqrt{0,007^2 + 0,027^2} = 0,028 \text{ bar}$$

P5.3.5 Rozšířená nejistota měření

Rozšířená nejistota měření se určí pro každý zkušební bod dle vztahu:

$$U = k \cdot u_C,$$

kde k je koeficient rozšíření.

Níže jsou prezentovány základní postupy stanovení koeficientu rozšíření popsané dokumentem EA-4/02.

P5.4 Použití Welch-Satterthwaitova vztahu (stanovení efektivních stupňů volnosti)

V případě řešeného příkladu jsou pro zkušební bod 6 barů (při stoupajícím tlaku) k dispozici čtyři složky nejistoty (u_{Az} , u_{et} , u_d , u_t). Pomocí Welch-Satterthwaitova vztahu se určí počet efektivních stupňů volnosti:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4}{v_i}} = \frac{0,028^4}{\frac{0,007^4}{2} + \frac{0,023^4}{\infty} + \frac{0,006^4}{\infty} + \frac{0,012^4}{\infty}} = \frac{0,028^4}{\frac{0,007^4}{2}} = 512,0$$

Nejbližší nižší celé hodnotě efektivního stupně volnosti 50 odpovídá dle výše uvedené tabulky hodnota $k = 2,05$. Dosazením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2,05 \cdot 0,028 = 0,057 \text{ bar}$$

Nicméně pro $v_{\text{eff}} > 200$ lze již položit koeficient rozšíření $k = 2,00$, potom $U = 0,056$ bar.

Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice. Při závěrečném vyjádření se číselná hodnota rozšířené nejistoty standardně zaokrouhlí na pozici odpovídající uváděné indikaci zkoušeného měřidla. Při zaokrouhlování se použije běžných pravidel pro zaokrouhlování podle ČSN ISO 80000-1, přílohy B; v případě že by zaokrouhlení vedlo ke snížení hodnoty nejistoty o více než 5 %, se použije zaokrouhlení nahoru.

Rozšířená nejistota měření po zaokrouhlení: $U \cong 0,06$ bar

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 13:

Tabulka 13 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota tlaku zkoušeného měřidla včetně nejistoty	
	zatěžování	odlehčování
bar	bar	bar
0,00	0,00 ± 0,03	0,01 ± 0,04
2,00	2,00 ± 0,04	2,03 ± 0,04
4,00	4,01 ± 0,04	4,05 ± 0,04
6,00	6,03 ± 0,06	6,07 ± 0,06
8,00	8,05 ± 0,06	8,07 ± 0,06
10,00	9,99 ± 0,06	10,00 ± 0,05
12,00	11,89 ± 0,08	11,91 ± 0,08

P5.5 Aplikace pravidla o jedné dominantní složce nejistoty měření

V případě řešeného příkladu pro zkušební bod 6 barů (při stoupajícím tlaku) nabývá kritérium pro posouzení dominance jedné nejistoty měření následující hodnoty:

$$\frac{\sqrt{u_d^2 + u_t^2}}{u_{et}} = \frac{\sqrt{0,006^2 + 0,012^2}}{0,023} = 0,58$$

V řešeném případě nebyla splněna podmínka pro aplikaci pravidla o jedné dominantní složce nejistoty měření, nicméně dle centrální limitní věty lze usoudit, že výsledné rozdělení bude mít normální rozdělení a koeficientu rozšíření může být přiřazena hodnota 2.

Dosazením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 6 barů při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,028 = 0,056 \text{ bar}$$

Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice. Při závěrečném vyjádření číselnou hodnotu rozšířené nejistoty měření se zaokrouhlí na pozici odpovídající uváděné indikaci zkoušeného měřidla. Při zaokrouhlování se použijí pravidla pro zaokrouhlování; v případě že by zaokrouhlení vedlo ke snížení hodnoty nejistoty o více než 5 %, použije se zaokrouhlení nahoru.

Rozšířená nejistota měření po zaokrouhlení: $U \cong 0,06 \text{ bar}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 14:

Tabulka 14 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota tlaku zkoušeného měřidla včetně nejistoty	
	zatěžování	odlehčování
bar	bar	bar
0,00	0,00 ± 0,03	0,01 ± 0,04
2,00	2,00 ± 0,04	2,03 ± 0,04
4,00	4,01 ± 0,04	4,05 ± 0,04
6,00	6,03 ± 0,06	6,07 ± 0,06
8,00	8,05 ± 0,06	8,07 ± 0,06
10,00	9,99 ± 0,06	10,00 ± 0,05
12,00	11,89 ± 0,08	11,91 ± 0,08

Obsah

Úvod	4
1 Všeobecná ustanovení	4
2 Související legislativní dokumenty, normativní a ostatní předpisy	4
3 Pojmy, termíny, definice a použité zkratky	5
4 Zkušební vybavení	5
5 Podmínky v průběhu zkoušek	6
5.1 Podmínky okolního prostředí při zkouškách	6
5.2 Ostatní podmínky	6
6 Postup zkoušek	6
6.1 Vizuální prohlídka	6
6.2 Zajištění podmínek funkčních zkoušek	6
6.3 Funkční zkoušky	7
7 Vyhodnocení zkoušek	8
7.1 Záznam hodnot při zkouškách	8
7.2 Základní chyba zkoušeného měřidla	8
7.3 Chyba hystereze zkoušeného měřidla	8
8 Úřední značky, jejich umístění a dokumentace ověření	9
9 Přílohy	9
10 Účinnost	9
Příloha 1	11
Příloha 2	12
Příloha 3	13
Příloha 4	15
Příloha 5	23

Poznámky:

Poznámky:

MP 016

**MĚŘIDLA TLAKU V PNEUMATIKÁCH
SILNIČNÍCH MOTOROVÝCH VOZIDEL**

POSTUP ZKOUŠENÍ PŘI OVĚŘOVÁNÍ

Vydání: červenec 2019

Vydává: Český metrologický institut, Okružní 31, 638 00 Brno