



ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT
Okružní 31, 638 00 Brno

METROLOGICKÝ PŘEDPIS

MP 025

MĚŘICÍ PŘEVODNÍKY TLAKU

POSTUP ZKOUŠENÍ PŘI OVĚŘOVÁNÍ

Vydání: únor 2021

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

**V PŘÍPADĚ METROLOGICKÝCH STŘEDISEK AUTORIZOVANÝCH PRO
OVĚŘOVÁNÍ MĚŘICÍCH PŘEVODNÍKŮ TLAKU 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, která vydal Český metrologický institut (dále jen „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 o metrologii“).

MP stanovuje postup zkoušení měřicích převodníků tlaku při jejich ověřování a doplňuje další detailní informace přispívající ke správné a jednotné aplikaci metod ověřování stanovených příslušnými opatřeními obecné povahy.

Pro zaměstnance ČMI provádějící ověřování převodníků tlaku je tento MP závazný. V případě ověřování převodníků tlaku prováděného subjekty, které jsou k této činnosti autorizovány podle § 16 zákona o metrologii, zakládá použití tohoto předpisu předpoklad uplatnění požadavků a předpoklad řádné implementace metod zkoušení stanovených příslušnými opatřeními obecné povahy (dále jen „OOP“).

Cílem tohoto MP je shromáždit v jednom dokumentu všechny relevantní informace potřebné pro výkon ověřování měřicích převodníků tlaku (dále jen „převodníků tlaku“).

1 Všeobecná ustanovení

Tento metrologický předpis se použije s ohledem na cílovou aplikaci při prvotním a následném ověřování převodníků tlaku uváděných na trh a do používání podle zákona o metrologii nebo při následném ověřování převodníků tlaku uvedených na trh a do používání cestou posouzení shody podle nařízení vlády č. 120/2016 Sb., o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh a do používání.

Prvotní ověřování převodníků tlaku, jejichž uvádění na trh není dotčeno právními předpisy z harmonizované oblasti jednotné metrologické legislativy Evropské unie, se provádí ve smyslu § 9 zákona o metrologii podle kapitoly 6 opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C057, a to při splnění podmínky, že certifikát o schválení typu předmětného stanoveného měřidla je platný.

Prvotní ověřování převodníků tlaku, jejichž uvádění na trh je dotčeno právními předpisy z harmonizované oblasti jednotné metrologické legislativy Evropské unie (převodníky tlaku určené k použití v oblasti bydlení, obchodu a lehkého průmyslu jako členy kombinovaných přepočítávačů množství plynu), se ve smyslu § 9 zákona o metrologii neprovádí.

Následné ověřování převodníků tlaku (tj. ověření stanoveného měřidla uvedeného do provozu po uplynutí platnosti předchozího ověření, po aktu posouzení shody či v jiném případě zániku předchozího ověření) se provádí ve smyslu § 9 zákona o metrologii podle příslušných opatření obecné povahy určujících metody ověřování a kritéria shody (největší dovolené chyby). Pokud není uvedeno v OOP jinak, uplatní se při následném ověřování měřidel metrologické a technické požadavky, které byly rozhodné při jejich uvedení do oběhu. Pro následné ověření stanovených měřidel není podmínka platnosti certifikátu o schválení typu relevantní.

Ověřením (prvotním nebo následným) stanoveného měřidla se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické a technické vlastnosti stanovené příslušným OOP.

2 Související normy a předpisy

Legislativní dokumenty:

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

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

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

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

Nařízení vlády č. 120/2016 Sb., o posuzování shody měřidel při jejich dodávání na trh, ve znění pozdějších předpisů (zapracovává směrnici Evropského parlamentu a Rady 2014/32/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání měřidel na trh)

Zákon č. 90/2016 Sb., o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh, ve znění pozdějších předpisů

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C057, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla - měřicí převodníky tlaku, včetně metod jejich zkoušení při schvalování typu, ověřování a přezkušování

Opatření obecné povahy č. 0111-OOP-C032, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla - přepočítávače množství plynu, které jsou určeny k použití v obytných a obchodních prostorách a v lehkém průmyslu, včetně metod jejich zkoušení při schvalování typu, ověřování a přezkušování

Technické předpisy:

EA-4/02 M:2013 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 v dalších dokumentech či předpisech uvedených v kapitole 2.

Použité zkratky:

FS ... měřicí rozpětí

MH ... měřená hodnota

MPE ... největší dovolená chyba

¹ Dokument je dostupný na www.unmz.cz

4 Technické vybavení

Ke zkoušce metrologických vlastností se použije následující vybavení:

- etalon tlaku vhodného fyzikálního principu s měřicím rozsahem odpovídajícím měřicímu rozsahu zkoušených měřidel;
- přístrojové a/nebo komunikační vybavení pro měření a indikaci výstupního signálu zkoušeného převodníku tlaku;
- měřidla na monitorování podmínek okolního prostředí: teploměr, vlhkoměr, barometr;
- pomocná měřicí zařízení: zdroje tlakového média, vývěvy, regulátory, filtry atd.

Požadavky na etalony a podmínky pro jejich použití:

- zaručená a platná metrologickou návaznost;
- složka nejistoty měření (pro $k = 2$) odpovídající nejistotě referenčního měřicího systému (generování vstupního tlaku, měření výstupního signálu) musí být menší nebo nejvýše rovna $\frac{1}{4}$ největší dovolené chyby zkoušeného převodníku.

POZNÁMKA: Požadovaný poměr nejistoty měřicího systému a přesnosti zkoušeného měřidla lze chápat také jako požadavek na maximální hodnotu nejistoty typu B – viz přílohy 5 a 6.

5 Podmínky v průběhu zkoušek

5.1 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Zkouška přesnosti se musí provádět při následujících podmínkách okolního prostředí

- teplota: $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$;
- relativní vlhkost: $(60 \pm 20) \%$;
- atmosférický tlak: $(86 \text{ až } 106) \text{ kPa abs.}$, je-li vliv atmosférického tlaku relevantní;

s výjimkou převodníků tlaku určených k použití ve funkci členů kombinovaných přepočítávačů množství plynu, kde se uplatní následující podmínky okolního prostředí:

- teplota: $(20 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$;
- relativní vlhkost: $(60 \pm 15) \%$

POZNÁMKA: Vliv atmosférického tlaku nelze zanedbat u měřidel přetlaku a diferenčního tlaku, především u měřidel s malým měřicím rozpětím.

Největší dovolená rychlost změny teploty okolí během zkoušky může být až $1 \text{ }^\circ\text{C}$ za 10 minut, ale ne více než $3 \text{ }^\circ\text{C}$ za hodinu.

5.2 Ostatní podmínky

Podmínky elektrického napájení

Referenční hodnoty elektrického napájení převodníku tlaku stanoví výrobce nebo certifikát o schválení typu. Neodporuje-li to výše uvedenému, použije se stejnosměrné napájecí napětí 24 V.

Podmínky zátěže

Zkoušený převodník tlaku musí být připojen k zátěži způsobem stanoveným výrobcem. Obvykle používanou hodnotou zátěže pro elektricky napájené převodníky tlaku je $250 \text{ } \Omega$.

Montážní poloha

Zkouška přesnosti se přednostně provede s převodníkem tlaku umístěným v normální provozní poloze. Není-li poloha v měřicí aplikaci známá, převodník se umístí podle pokynů výrobce nebo uživatele měřidla v jedné z jeho stanovených normálních provozních poloh s tolerancí $\pm 3^\circ$ nebo menší.

Převodník tlaku musí mít při zkouškách nasazeny všechny kryty.

Vnější vibrace

Instalace převodníku tlaku musí vyloučit působení vibrací z vnějšího prostředí na převodník tlaku.

Vnější mechanické namáhání

Kromě výrobcem doporučených montážních prostředků není povoleno žádné vnější mechanické namáhání.

Statický tlak (pouze u převodníků diferenčního tlaku)

Největší dovolená odchylka statického tlaku v pracovních podmínkách od jmenovitého statického tlaku při ověřování může být maximálně $\pm 1,5$ MPa.

POZNÁMKA: Převodníky diferenčního tlaku používané v aplikacích se statickým tlakem do 1,5 MPa přetlaku (a tomu odpovídající hodnotě absolutního tlaku) lze ověřovat za atmosférického tlaku. Pokud atmosférický tlak při ověřování splňuje požadavek dle článku 5.1, je tedy možné měřidlo ověřit při statickém tlaku rovnému aktuálnímu atmosférickému tlaku, tedy port „-“ je otevřený do atmosféry.

Zajištění proti neoprávněnému zásahu

Konstrukce a provedení měřicího převodníku musí umožňovat zajištění všech nastavovacích prvků proti neoprávněnému zásahu.

POZNÁMKA: Musí být zabezpečen jak přístup k nastavovacím prvkům, tak i přístup k rozhraní vnějšího systému. Po ověření měřidla se měřidlo proti neoprávněnému zásahu zabezpečí postupem dle příslušného certifikátu o schválení typu. To může zahrnovat zajištění víka elektroniky úřední značkou ověření, přepnutí a zajištění přepínače zabezpečení, zadání hesla atd.

Tlakové médium

Tlak v měřidle musí být generován nekorozivním tlakovým médiem.

6 Postup zkoušek při ověřování

Proces ověřování převodníku tlaku se skládá z vizuální prohlídky a zkoušky přesnosti.

6.1 Vizuální prohlídka

Při vizuální prohlídce se kontroluje, zda:

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

Na měřidlo musí být uvedeny následující údaje:

- a) název nebo označení výrobce;
- b) typ;
- c) měřicí rozsah včetně měřicí jednotky;
- d) výstupní signál;
- e) napájení;
- f) pracovní poloha měřidla, pokud to charakter měřidla nebo certifikát o schválení typu vyžaduje;
- g) výrobní číslo;
- h) značka schválení typu;
- i) třída přesnosti (viz poznámku níže);
- j) korekce na výšku vodního sloupce (viz poznámku).

Je-li převodník tlaku členem kombinovaného přepočítávače množství plynu, musí být tato informace na měřidlo uvedena, např. nápisem „Člen přepočítávače množství plynu“.

Pokud měřidlo nevyhoví požadavkům vnější prohlídky, dále se nezkouší.

POZNÁMKA: V případě aplikace tlakové korekce (lineárního posunu) výstupního signálu měřicích převodníků tlaku používaných pro měření tepla předaného vodní párou, kdy je převodník statického tlaku umístěn pod snímačem průtoku, musí být hodnota této korekce uvedena na převodníku. Korekce se standardně nastavuje až při montáži měřidla (viz přílohu 8), nicméně je možné ji nastavit již v rámci procesu ověřování.

6.2 Zajištění podmínek funkčních zkoušek

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

Umožňuje-li měřicí převodník použití více druhů výstupních signálů (např. proudový analogový výstup a současně i digitální výstup protokolu HART), musí být na pouzdru převodníku uvedeno, který signál je předmětem ověření. Neobsahuje-li převodník uvedené označení, podléhají ověření všechny výstupní signály.

POZNÁMKA: U převodníků tlaku, které umožňují přepnutí mezi lineární závislostí výstupního signálu a odmocninovou závislostí výstupního signálu na vstupním tlaku, se přednostně používá lineární závislost. Odmocninový výstup se použije, vyžaduje-li to nadřazený systém (vyhodnocovací jednotka), nebo jiné relevantní požadavky.

Zkoušené měřidlo musí být před provedením měření dostatečně teplotně stabilizováno. Doba teplotní stabilizace je funkcí hmotnosti a energetické ztráty zkoušeného převodníku. Obvykle se kontroluje pomocí ustálení výstupního signálu. Musí být poskytnuta dostatečně dlouhá doba k tomu, aby bylo zajištěno dosažení ustálené provozní teploty zkoušeného převodníku tlaku s připojeným napájením. Doporučuje se měřidlo ponechat při ustálených okolních podmínkách (teplota a vlhkost podle článku 5.1) minimálně 6 hodin před započítáním zkoušek, z toho minimálně 30 minut při zapnutém napájení.

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 se provádí metodou přímého porovnání veličiny indikované zkoušeným měřidlem s hodnotou indikovanou etalonem.

Před zahájením funkčních zkoušek se měřidlo alespoň třikrát plynule zatíží na hodnotu horní meze měřicího rozsahu. Během tohoto zatěžování se doporučuje zkontrolovat správnost indikace měřidla a případně provést justáž měřidla.

POZNÁMKA: V případě provedení justáže měřidla se doporučuje vhodnou formou zaznamenat stav měřidla před justáží do záznamu o měření.

Pokud je převodník tlaku vybavený funkcí nulování, před začátkem zkoušky přesnosti série se tato funkce použije k nastavení nové nulové hodnoty tlaku. Při užití funkce nulování se postupuje dle návodu výrobce.

Při zkoušce přesnosti se převodník tlaku v průběhu měření a mezi jednotlivými sériemi měření **nenuluje** ani nijak dále nenastavuje. (Výjimkou by mohla být pouze situace, kdy jiný přístup výslovně stanoví certifikát o schválení typu měřidla.)

POZNÁMKA: Pokud byly právně závazným předpisem požadované technické a metrologické vlastnosti převodníků tlaku prokázány při zkouškách pro schválení typu nebo při zkouškách pro účely posouzení shody, bylo tím učiněno zjištění, že měřidlo je schopno plnit funkci, pro kterou je určeno. Převodník tlaku by tedy měl pracovat s dostatečnou stabilitou a přesností výstupního signálu tak, aby při zkoušce přesnosti nebylo nulování potřeba. Po ověření, montáži a případném vynulování na místě instalace má být schopen převodník tlaku po celou dobu platnosti ověření pracovat bez dalších nutných zásahů.

6.3.1 Největší dovolená chyba a třídy přesnosti

Podle kapitoly 2.3.1.2 OOP se převodníky tlaku pro účely ověřování zařadí do třídy přesnosti (viz přílohu 1). Pro účely ověřování se převodníky tlaku zařazují na základě jejich specifikace dle certifikátu o schválení typu měřidla do vyšší třídy přesnosti nebo do téže třídy přesnosti, je-li identická, z následující řady tříd přesnosti: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1 (% nastaveného měřicího rozpětí).

Absolutní hodnota největší dovolené chyby MPE (vyjádřená v jednotkách výstupního signálu) se vypočítá z třídy přesnosti měřidla TP a horní a dolní meze výstupního signálu I_{\max} a I_{\min} odpovídající horní a dolní mezi měřicího rozsahu P_{\max} a P_{\min} .

$$MPE = \frac{TP}{100} \cdot (|I_{\max} - I_{\min}|) \quad (1)$$

Viz příklad v příloze 3.

POZNÁMKA 1: Pro zařazení do třídy přesnosti je třeba uvažovat nejen základní specifikaci měřidla dle příslušného certifikátu o schválení typu, ale i nastavené měřicí rozpětí a základní měřicí rozpětí snímače. Většinou platí, že základní specifikace dle certifikátu platí jen do určitého poměru nastaveného a základního měřicího rozpětí (R/S). Je tedy potřeba nejprve vypočítat specifikaci dle příslušného certifikátu a teprve poté provést zařazení do třídy přesnosti. Není-li možné převodník tlaku zařadit do žádné z uvedených tříd přesnosti, dále se nezkouší.

POZNÁMKA 2: V případě digitálního výstupního signálu, je P_{\max} rovno I_{\max} a P_{\min} je rovno I_{\min} .

Je-li to možné (a nedojde-li tím k poškození zájmů uživatele měřidel) nebo nebrání-li tomu okolnosti použití daného měřidla, provede se zařazení do třídy přesnosti i u měřidel, která byla uvedena do provozu před účinností OOP.

POZNÁMKA: Zařazování převodníků tlaku uvedených do provozu před účinností OOP je založeno na dobrovolnosti s cílem sjednotit a zjednodušit pravidla při ověřování. Pro toto zařazení se předpokládá souhlas uživatele stanoveného měřidla.

Není-li možné zařadit převodník tlaku uvedený do provozu před účinností OOP (24. 2. 2017) do třídy přesnosti, použije se dále při ověřování (článek 6.3.2 tohoto MP a následující) přesnost deklarovaná při jejich uvedení na trh místo třídy přesnosti. Důvodem pro **nezařazení** do třídy přesnosti může být například omezení nadřazeného systému, případně jiné relevantní požadavky.

POZNÁMKA: K výše uvedenému; např. specifikace ověřovaného převodníku tlaku uvedeného do oběhu před účinností OOP je dle certifikátu o schválení typu 0,25 %, převodník by tak měl být zařazen do třídy přesnosti 0,5, nicméně měřicí systém požaduje převodník tlaku se specifikací nejvýše 0,25 %).

U převodníků tlaku použitých jako členy kombinovaných přepočítávačů množství plynu se zařazení do třídy přesnosti **neprovádí**. Největší dovolená chyba *MPE* v každém zkušebním bodě je v tomto případě 0,2 % z MH.

POZNÁMKA: Uvedená MPE 0,2 % z měřené hodnoty je standardně vyjádřena v jednotkách tlaku. Pro její případný přepočet na výstupní jednotky (nejsou-li to jednotky tlaku) se použije vztah (11) uvedený v příloze č. 3.

6.3.2 Zkouška přesnosti

Zkouška přesnosti se provádí v celém nastaveném měřicím rozsahu pro rostoucí i klesající hodnoty tlaku.

Měření se provede ve třech měřicích cyklech a nejméně v šesti rovnoměrně rozložených zkušebních bodech při rostoucí i klesající hodnotě tlaku. Horní a dolní mez měřicího rozsahu (resp. body v jejich blízkosti) musí být povinně zkušebními body.

Doporučené umístění zkušebních bodů je (0; 20; 40; 60; 80; 100) % měřicího rozpětí.

V případě převodníků tlaku použitých jako členy kombinovaných přepočítávačů množství plynu se se měření provede ve třech měřicích cyklech a nejméně v osmi rovnoměrně rozložených zkušebních bodech při rostoucí i klesající hodnotě tlaku. Horní a dolní mez měřicího rozsahu (resp. body v jejich blízkosti) musí být povinně zkušebními body.

POZNÁMKA: U převodníků absolutního tlaku s dolní mezí měřicího rozsahu odpovídající nulové hodnotě absolutního tlaku je možné první zkušební bod posunout až na 5 % měřicího rozpětí, případně atmosférický tlak (použije se možnost, která odpovídá pracovnímu rozsahu převodníku).

V každém zkušebním bodě se zaznamená indikace ověřovaného převodníku tlaku a indikace etalonu.

Ve všech zkušebních bodech musí být splněna podmínka uvedená v článku 5.1. K monitorování podmínek prostředí musí být použita vhodná měřidla s platnou metrologickou návazností. Dodržení stanovených podmínek prostředí musí být doloženo záznamy podmínek prostředí a/nebo může být deklarováno prostřednictvím prohlášení laboratoře uvedeného v záznamu o měření zkoušeného měřidla.

Při ověřování převodníků tlaku se tlak (při přechodu mezi jednotlivými zkušebními body) plynule zvyšuje a snižuje rychlostí nejvíce 5 % měřicího rozpětí za sekundu.

Hodnoty tlaku se musí nastavovat zesponu, resp. shora, dojde-li k výraznému překročení hodnoty tlaku zkušebního bodu, je nutné vrátit se na bod předešlý a nastavení opakovat.

V každém tlakovém bodě se vstupní tlak udržuje na ustálené hodnotě, dokud nelze výstup měřidla považovat za dostatečně stabilní. Odečet indikace se provede až po dostatečném ustálení hodnoty tlaku v měřicím systému (doporučuje se provádět odečet nejdříve po 30 s).

POZNÁMKA: Odečet indikace zkoušeného měřidla se doporučuje provádět až po dostatečném ustálení výstupního signálu. Má-li měřidlo nastavené tlumení (damping), doporučuje se odečítat výstupní signál nejdříve po uplynutí 5násobku (v sekundách) hodnoty tlumení.

7 Vyhodnocení zkoušek

7.1 Záznam hodnot při zkouškách

Při zkoušce přesnosti podle článku 6.3.2 se v každém zkušebním bodě zaznamenají následující hodnoty:

P_e – indikace etalonu tlaku

I_M – indikace zkoušeného měřidla

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

7.2 Chyba zkoušeného měřidla

Chyba indikace zkoušeného měřidla Δ se vypočítá podle vztahu:

$$\Delta = I_M - I_e, \quad (2)$$

kde I_M je hodnota výstupního signálu indikovaná zkoušeným měřidlem a I_e je hodnota ideálního výstupního signálu přepočítaná z přenosové funkce měřidla a indikace etalonu P_e v daném zkušebním bodě. Vzor výpočtu je uveden v příloze 3.

U převodníků tlaku s digitálním výstupním signálem je hodnota výstupního signálu I_M rovna indikaci tlaku P_M .

Absolutní hodnota chyby měření Δ musí být ve všech zkušebních bodech menší nebo rovna hodnotě největší dovolené chyby MPE :

$$|\Delta| \leq MPE. \quad (3)$$

POZNÁMKA: další možností, jak vyjádřit chybu měřidla je přepočítat indikaci měřidla I_M (v jednotkách výstupního signálu) na indikaci v jednotkách tlaku P_M podle přenosové funkce měřidla, a tuto hodnotu odečíst od indikace etalonu P_e podle vztahu

$$\Delta = P_M - P_e \quad (4)$$

V takovém případě je dále vhodné vyjádřit hodnotu maximální dovolené chyby MPE v jednotkách výstupního signálu zkoušeného měřidla:

$$MPE = \frac{TP}{100} \cdot (|P_{\max} - P_{\min}|) \quad (5)$$

Stejně jako výše pak platí, že absolutní hodnota chyby měření musí být ve všech bodech měření menší nebo rovna největší dovolené chybě.

7.3 Značení ověřených měřidel

Převodníky tlaku, které vyhovely podmínkám ověření (tj. při splnění požadavků uvedených v článku 6.1 se prokáže, že ve všech zkušebních bodech je zjištěná chyba měření menší nebo rovna největší dovolené chybě dle článku 6.3.1), se označí jednou či více úředními značkami, a to způsobem a na místech určených v certifikátu o schválení typu měřidla.

V případech, kdy je certifikátem stanoveno umístění více úředních značek, musí být jedna z nich určena jako hlavní úřední značka. Není-li hlavní úřední značka určena certifikátem, postupuje se při jejím určení podle metodického pokynu pro metrologii MPM 21-16.

POZNÁMKA: MPM 21-16 vydal Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Je závazný pro ČMI a subjekty, které jsou podle zákona o metrologii autorizovány k ověřování stanovených měřidel.

POZNÁMKA: V případě převodníků tlaku ověřovaných ČMI musí být jedna úřední značka tzv. transakční úřední značkou ČMI. Tato úřední značka ČMI (v provedení jako samolepicí štítek), obsahující i sedmimístný identifikační kód, plní automaticky roli hlavní úřední značky. Nevyžaduje umístění tzv. určovací značky (symbol „H“), jak je tomu v případě určování hlavní úřední značky u autorizovaných metrologických středisek.

Na základě žádosti zákazníka může být vystaven dokument *Potvrzení o ověření stanoveného měřidla*. Vzor dokumentu je uveden v metrologickém předpisu MP 002².

7.4 Zamítnutí ověření

Pokud převodník tlaku nevyhoví požadavkům stanoveným v OOP, ověření se neprovede. Subjekt, který zkoušky za účelem ověření prováděl (ČMI nebo autorizované metrologické středisko) k tomu vydá dokument *Rozhodnutí o zamítnutí ověření stanoveného měřidla*. Vzor dokumentu je uveden v metrologickém předpisu MP 002².

8 Přílohy

- Příloha 1 (normativní): Největší dovolená chyba a třídy přesnosti
- Příloha 2 (informativní): Příklady výpočtu největších dovolených chyb
- Příloha 3 (informativní): Přepočet hodnoty analogového výstupního signálu na hodnotu tlaku
- Příloha 4a (informativní): Záznam o měření (1. strana) – identifikace měřidla a zajištění podmínek zkoušek
- Příloha 4b (informativní): Záznam o měření (2. strana) – naměřené hodnoty a vyhodnocení zkoušek
- Příloha 4c (informativní): Záznam o měření (2. strana) – příklad zápisu a vyhodnocení naměřených hodnot
- Příloha 5 (informativní): Postup stanovení nejistoty měření – převodníky tlaku s analogovým výstupním signálem
- Příloha 6 (informativní): Postup stanovení nejistoty měření – převodníky tlaku s digitálním výstupním signálem
- Příloha 7 (informativní): Nulování převodníků diferenčního tlaku na místě instalace
- Příloha 8 (informativní): Kompenzace výšky vodního sloupce
- Příloha 9 (informativní): Obecné možnosti justáže a nastavení převodníků tlaku

² Dokument je dostupný na www.cmi.cz

9 Účinnost

Toto vydání předpisu nabývá účinnosti dnem 1. 2. 2021.

RNDr. Pavel Klenovský v. r.
generální ředitel Českého metrologického institutu

Za správnost:

Zpracovatelé předpisu:

Ing. Václav Sedlák, Český metrologický institut

Ing. Tomáš Hajduk, PhD., Český metrologický institut

Ing. Zdeněk Krajíček, PhD., Český metrologický institut

Odborný garant předpisu v ČMI:

Ing. Václav Sedlák, Český metrologický institut

Příloha 1 (normativní)

Největší dovolená chyba a třídy přesnosti

Největší dovolená chyba indikace převodníku tlaku za referenčních podmínek je určena třídou přesnosti. Číselnému označení třídy přesnosti převodníku tlaku odpovídá absolutní hodnota největší dovolené chyby vyjádřené v procentech rozpětí výstupního signálu.

Pro účely ověřování se schválené typy převodníků tlaku zařazují do vyšší třídy přesnosti nebo do téže třídy přesnosti, je-li identická:

0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1

U převodníků tlaku, které jsou členy kombinovaného přepočítávače množství plynu se zařazení do třídy přesnosti neprovádí a maximální dovolená chyba v každém zkušebním bodě je 0,2 % hodnoty měřeného tlaku.

Příloha 2 (informativní)

Příklady výpočtu největších dovolených chyb

Příklad 1:

Zkoušené měřidlo:	měřicí převodník tlaku typové řady Rosemount 3051, značka schválení typu TCM 173/99 – 3077 (Revize 4)
Typ měřidla:	3051CA3...
Základní měřicí rozsah:	0 kPa abs. až 5516 kPa abs.
Základní měřicí rozpětí (R):	5516 kPa
Nastavený měřicí rozsah:	50 kPa abs. až 300 kPa abs.
Nastavené měřicí rozpětí (S):	250 kPa

Přesnost dle certifikátu schválení typu: 0,04 % nastaveného měřicího rozpětí do $R/S \leq 10$, pro vyšší R/S je přesnost daná vztahem $(0,0075 \cdot R/S)$ % nastaveného měřicího rozpětí.

Poměr základního a nastaveného měřicího rozpětí $R/S = \frac{5516}{250} = 22,064$, pro základní přesnost podle výše uvedeného platí: $0,0075 \cdot R/S \Rightarrow 0,0075 \cdot 22,064 = 0,16548$ [% S].

Podle pravidel pro zařazování měřidel do tříd přesnosti se při ověřování uvedené měřidlo zařadí do třídy přesnosti 0,2.

Největší dovolená chyba při ověřování měřidla je 0,2 % z 250 kPa, tedy 0,5 kPa. Při použití proudového výstupního signálu (4 až 20) mA je největší dovolenou chyba 0,2 % z 16 mA, tedy 0,032 mA.

Příklad 2:

Zkoušené měřidlo:	měřicí převodník tlaku typové řady Rosemount 3051 S, značka schválení typu TCM 173/04 – 5154 (Revize 4)
Typ měřidla:	3051S3CD3A...
Základní měřicí rozsah:	-250 kPa až +250 kPa, diferenční tlak
Základní měřicí rozpětí (R):	500 kPa
Nastavený měřicí rozsah:	0 kPa abs. až 150 kPa, diferenční tlak
Nastavené měřicí rozpětí (S):	150 kPa.

Přesnost dle certifikátu schválení typu: 0,04 % měřené hodnoty (MH) do $R/MH \leq 8$, pro $R/MH \leq 200$ je přesnost daná vztahem $(0,04 + 0,0023 \cdot R/MH)$ % MH a pro vyšší R/MH je přesnost 6,23 Pa.

U tohoto konkrétního typu měřidla není základní přesnost vyjádřena v procentech nastaveného měřicího rozpětí (% S), ale v procentech měřené hodnoty (% MH). I přes proměnlivou hodnotu přesnosti v různých bodech lze odvodit, že pro zařazení do třídy přesnosti stačí vypočítat maximální hodnotu přesnosti dle certifikátu schválení typu a tuto hodnotu následně vyjádřit v procentech nastaveného měřicího rozpětí.

Z výše uvedeného vyplývá, že maximum hodnoty přesnosti dle certifikátu schválení typu je na horní mezi nastaveného měřicího rozsahu, tj. $0,04$ % z 150 kPa \Rightarrow 0,06 kPa. Na základě výše uvedeného a pravidel pro zařazování měřidel do tříd přesnosti se při ověřování uvedené měřidlo zařadí do třídy přesnosti 0,05.

Největší dovolená chyba při ověřování měřidla je 0,05 % z 150 kPa, tedy 0,075 kPa. Při použití proudového výstupního signálu (4 až 20) mA je největší dovolenou chyba 0,05 % z 16 mA, tedy 0,008 mA.

Příloha 3 (informativní)

Přepočítání hodnoty analogového výstupního signálu na hodnotu tlaku

Přepočítání hodnoty analogového výstupního signálu I_M s lineární závislostí na hodnotu tlaku P_M se provede podle vztahu:

$$P_M = P_{\text{Min}} + \frac{(I_M - I_{\text{Min}})}{(I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}})} \cdot (P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}). \quad (6)$$

Pro (zpětný) přepočítání hodnoty tlaku P_M na odpovídající hodnotu analogového výstupního signálu platí I_M :

$$I_M = I_{\text{Min}} + \frac{(P_M - P_{\text{Min}})}{(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}})} \cdot (I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}}). \quad (7)$$

Přepočítání hodnoty analogového výstupního signálu I_M s odmocninovou závislostí na hodnotu tlaku P_M se provede podle vztahu:

$$P_M = P_{\text{Min}} + \left(\frac{(I_M - I_{\text{Min}})}{(I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}})} \right)^2 \cdot (P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}}). \quad (8)$$

Pro (zpětný) přepočítání hodnoty tlaku P_M na odpovídající hodnotu analogového výstupního signálu platí I_M :

$$I_M = I_{\text{Min}} + \sqrt{\frac{(P_M - P_{\text{Min}})}{(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}})}} \cdot (I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}}). \quad (9)$$

Ve všech výše uvedených vztazích jsou P_{max} a P_{min} horní a dolní meze měřicího rozpětí, I_{max} a I_{min} jsou nominální hodnoty výstupního signálu odpovídající horní a dolní meze měřicího rozpětí.

Přepočítání největší dovolené chyby

Přepočítání hodnoty největší dovolené chyby, specifikace, atd. vyjádřené v jednotkách analogového výstupního signálu δ_I na hodnotu v jednotkách tlaku δ_P se provede podle vztahu:

$$\delta_P = \delta_I \cdot \frac{(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}})}{(I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}})}. \quad (10)$$

Přepočítání hodnoty největší dovolené chyby, specifikace, atd. vyjádřené v jednotkách tlaku δ_P na hodnotu v jednotkách výstupního signálu δ_I se provede podle vztahu:

$$\delta_I = \delta_P \cdot \frac{(I_{\text{Max}} - I_{\text{Min}})}{(P_{\text{Max}} - P_{\text{Min}})}. \quad (11)$$

Ve všech výše uvedených vztazích jsou P_{max} a P_{min} horní a dolní meze měřicího rozpětí, I_{max} a I_{min} jsou nominální hodnoty výstupního signálu odpovídající horní a dolní meze měřicího rozpětí.

POZNÁMKA: U měřidel s proudovým výstupním signálem se hodnota výstupního proudu často měří nepřímo, pomocí měření úbytku napětí na etalonovém odporu. V takovém případě je třeba měřený úbytek napětí u_M (V) přepočítat na proud i_M (mA) podle vztahu $i_M = \frac{u_M}{R}$, kde R (k Ω) je hodnota etalonového odporu.

Příloha 4a (informativní)Záznam o měření (1. strana) – identifikace měřidla a zajištění podmínek zkoušek³

Název organizace (AMS): Adresa organizace (AMS):	Záznam o měření č.
ZÁZNAM O MĚŘENÍ	
Zákazník:	
POPIS A IDENTIFIKACE MĚŘIDLA	
Druh měřidla:	Převodník tlaku
Výrobce:	
Typ:	
Výrobní číslo:	
Měřicí rozsah:	Druh tlaku:
Výstupní signál:	
Statický tlak:¹	¹ (pouze u převodníků diferenčního tlaku)
Značka schválení typu:	
Třída přesnosti:	
Použité etalony a měřidla:	Etalon tlaku, typ, v.č., kalibrační list č. Číslicový multimetr, v.č., kalibrační list č. Etalonový odpor, v.č., kalibrační list č.
Použité tlakové médium:	
Pracovní postup:	Metrologický předpis MP 025
Vnější prohlídka: (Včetně stavu měřidla, tlakového připojení, označení a nápisů.) Měřidlo splňuje technické požadavky stanovené v OOP č. 0111-OOP-C032/0111-OOP-C057*) a shoduje se se schváleným typem ANO NE*) Neshody:	
Hodnocení zajištění podmínek zkoušek:	
Podmínky okolního prostředí jsou v přípustných mezích dle OOP	ANO NE*)
Měřidlo je v normální provozní poloze, nebo je umístěné podle pokynů výrobce nebo uživatele měřidla	ANO NE*)
Na měřidlo nepůsobí vnější vibrace a rázy	ANO NE*)
Statický tlak (pouze u převodníků diferenčního tlaku) se od provozního liší max. ±1,5 MPa	ANO NE*)
Konstrukce a provedení převodníku umožňuje zajištění všech nastavovacích prvků proti neoprávněnému zásahu	ANO NE*)
Nejistota referenčního měřicího systému (generování tlaku, měření výstupního signálu) je nejvýše rovna ¼ největší dovolené chyby zkoušeného převodníku	ANO NE*)
Závěrečné vyhodnocení zkoušek: Převodník tlaku vyhovuje/nehovuje*) ve všech bodech podmínkám ověření.	
„Potvrzení o ověření stanoveného měřidla“ vystaveno NE / ANO*) – č.	
Zkoušku provedl:	Datum měření:

*) nehodící se škrtněte

strana 1/2

*Poznámka: Text psaný kurzívou má pouze informativní charakter a není součástí obsahu dokumentu.*³ Tento formulář je dostupný na www.cmi.cz

Příloha 4c (informativní)

Záznam o měření (2. strana) – příklad zápisu a vyhodnocení naměřených hodnot

Pracovní tabulka												
P_k	P_{ez}	I_{IDz}	I_{Mz}	Δ_z	$ \Delta F_z \leq MPE$	P_{e0}	I_{ID0}	I_{M0}	Δ_0	$ \Delta P_0 \leq MPE$	MPE	
kPa	kPa	mA	mA	mA		kPa	mA	mA	mA		kPa / mA	
1. sčíté												
100	100,000	5,0000	4,9987	-0,0013	ANO / NE	100,000	5,0000	4,9981	-0,0019	ANO / NE	1,600 / 0,016	
400	400,000	8,0000	7,9991	-0,0009	ANO / NE	400,000	8,0000	7,9983	-0,0017	ANO / NE	1,600 / 0,016	
700	700,000	11,0000	10,9997	-0,0003	ANO / NE	700,000	11,0000	10,9983	-0,0017	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1000	1000,000	14,0000	14,0008	0,0008	ANO / NE	1000,000	14,0000	14,0000	0,0000	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1300	1300,000	17,0000	17,0014	0,0014	ANO / NE	1300,000	17,0000	17,0005	0,0005	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1600	1600,000	20,0000	20,0021	0,0021	ANO / NE	1600,000	20,0000	20,0021	0,0021	ANO / NE	1,600 / 0,016	
2. sčíté												
100	100,000	5,0000	4,9981	-0,0019	ANO / NE	100,000	5,0000	4,9979	-0,0021	ANO / NE	1,600 / 0,016	
400	400,000	8,0000	7,9991	-0,0009	ANO / NE	400,000	8,0000	7,9981	-0,0019	ANO / NE	1,600 / 0,016	
700	700,000	11,0000	10,9995	-0,0005	ANO / NE	700,000	11,0000	10,9982	-0,0018	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1000	1000,000	14,0000	14,0008	0,0008	ANO / NE	1000,000	14,0000	13,9996	-0,0004	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1300	1300,000	17,0000	17,0014	0,0014	ANO / NE	1300,000	17,0000	17,0007	0,0007	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1600	1600,000	20,0000	20,0019	0,0019	ANO / NE	1600,000	20,0000	20,0019	0,0019	ANO / NE	1,600 / 0,016	
3. sčíté												
100	100,000	5,0000	4,9983	-0,0017	ANO / NE	100,000	5,0000	4,9980	-0,0020	ANO / NE	1,600 / 0,016	
400	400,000	8,0000	7,9991	-0,0009	ANO / NE	400,000	8,0000	7,9982	-0,0018	ANO / NE	1,600 / 0,016	
700	700,000	11,0000	10,9995	-0,0005	ANO / NE	700,000	11,0000	10,9983	-0,0017	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1000	1000,000	14,0000	14,0008	0,0008	ANO / NE	1000,000	14,0000	14,0000	0,0000	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1300	1300,000	17,0000	17,0013	0,0013	ANO / NE	1300,000	17,0000	17,0007	0,0007	ANO / NE	1,600 / 0,016	
1600	1600,000	20,0000	20,0021	0,0021	ANO / NE	1600,000	20,0000	20,0021	0,0021	ANO / NE	1,600 / 0,016	
Podmínky okolního prostředí během měření: Teplota (°C): 19,7 – 20,4												
Atm. tlak (hPa): 985												
Rel. vlhkost (% r.v.): 45 – 50												
TP 0,1												
Použité označení a symboly: index „z“ („o“) – označuje hodnoty platné pro zkoušku stoupajícím (klesajícím) tlakem, tzv. „zátěžování“ („odlehčování“) měřidla												
P_k	konvenční hodnota tlaku											
P_{ez}	indikace etalonu tlaku při zkoušce stoupajícím tlakem											
I_{IDz}	indikace etalonu tlaku přepočítaná na jednotky výstupního signálu měřidla z P_z											
I_{Mz}	indikace zkoušeného měřidla při zkoušce stoupajícím tlakem											
Δ_z	chyba zkoušeného měřidla tlaku při zkoušce stoupajícím tlakem											
**1): jednotka tlaku, **2): jednotka výstupního signálu měřidla												strana 2/2

Příloha 5 (informativní)

Postup stanovení nejistoty měření – převodníky tlaku s analogovým výstupním signálem

P.5.1 Vstupní údaje**Převodník tlaku s analogovým výstupním signálem**

Měřicí rozsah:	(0 až 1 600) kPa, absolutní tlak
Použité médium:	suchý čistý vzduch
Přesnost dle certifikátu schválení typu:	0,075 % nastaveného měřicího rozpětí
Výstup měřidla:	proudový 4 mA až 20 mA, lineární výstup
Třída přesnosti:	0,1

Použitý etalonový tlakoměr:

Měřicí rozsah:	(0 až 2 000) kPa, absolutní tlak
Nejistota měření (pro $k = 2$):	0,060 kPa v rozsahu do 600 kPa 0,01 % měřené hodnoty v rozsahu nad 600 kPa
Rozlišení odečtu:	0,001 kPa

Použitý číslicový multimetr:

Měřicí rozsah:	(0 až 10) V
Přesnost:	$5 \cdot 10^{-5}$ V + 0,0035 % měřené hodnoty
Rozlišení odečtu:	0,00001 V

Použitý etalonový odpor:

Hodnota odporu:	99,994037 Ω
Nejistota měření (pro $k = 2$):	0,000088 Ω

P.5.2 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Teplota okolního prostředí:	(19,7 až 20,4) °C
Relativní vlhkost vzduchu:	(50 až 55) % r. v.
Atmosférický tlak:	(990 až 995) hPa abs.

Při měření byla splněna podmínka, aby změna teploty během zkoušek nepřesáhla 1 °C za 10 minut a 3 °C za hodinu.

P.5.3 Vyhodnocení měření

Měření bylo provedeno ve třech měřicích cyklech zahrnujících měření při stoupajícím a klesajícím tlaku. Měření výstupního proudu probíhalo nepřímo pomocí měření úbytku napětí na etalonovém odporu.

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 6 zkušebních bodů rozložených v celém měřicím rozsahu.

Tabulka 1 – Naměřené hodnoty

Konvenční hodnota tlaku	1. série měření		2. série měření		3. série měření	
	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování
kPa	V	V	V	V	V	V
100	0,49984	0,49978	0,49978	0,49976	0,49980	0,49977
400	0,79986	0,79978	0,79986	0,79976	0,79986	0,79977
700	1,09990	1,09976	1,09988	1,09975	1,09988	1,09976
1000	1,40000	1,39992	1,40000	1,39988	1,40000	1,39992
1300	1,70004	1,69995	1,70004	1,69997	1,70003	1,69997
1600	2,00009	2,00009	2,00007	2,00007	2,00009	2,00009

Z naměřených hodnot úbytku napětí se následně vypočítají hodnoty výstupního proudového signálu zkoušeného měřidla. Pro přepočítání měřeného úbytku napětí u_M (V) na proud i_M (mA) se použije vztah

$$i_M = \frac{u_M}{R}, \quad (12)$$

kde R (k Ω) je hodnota etalonového odporu.

Tabulka 2 – Vypočtené hodnoty výstupního signálu

Konvenční hodnota tlaku	1. série měření		2. série měření		3. série měření	
	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování
kPa	mA	mA	mA	mA	mA	mA
100	4,9987	4,9981	4,9981	4,9979	4,9983	4,9980
400	7,9991	7,9983	7,9991	7,9981	7,9991	7,9982
700	10,9997	10,9983	10,9995	10,9982	10,9995	10,9983
1000	14,0008	14,0000	14,0008	13,9996	14,0008	14,0000
1300	17,0014	17,0005	17,0014	17,0007	17,0013	17,0007
1600	20,0021	20,0021	20,0019	20,0019	20,0021	20,0021

P.5.3.1 Stanovení průměrných hodnot z opakovaných měření

Aritmetický průměr hodnot výstupního proudového signálu při zkouškách stoupajícím tlakem \bar{I}_z a při zkouškách klesajícím tlakem \bar{I}_o se stanoví z n měření dle následujících vztahů:

$$\bar{I}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{zi}, \quad (13)$$

$$\bar{I}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{oi} \quad (14)$$

Příklad stanovení průměrné hodnoty z opakovaných zkoušek stoupajícím a klesajícím tlakem u zkoušeného převodníku tlaku pro zkušební bod 1 300 kPa:

$$\bar{I}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{zi} = \frac{1}{3} (17,0014 + 17,0014 + 17,0013) = 17,00138 \text{ mA}$$

$$\bar{I}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{oi} = \frac{1}{3} (17,0005 + 17,0007 + 17,0007) = 17,00065 \text{ mA}$$

P.5.4 Stanovení nejistot měření

Stanovení nejistot měření se provede ve shodě s dokumentem EA-4/02. Identifikují se zdroje nejistot a stanoví se hodnoty příspěvků těchto zdrojů nejistot. Následně se provede výpočet nejistot typu A a B, vypočte se kombinovaná nejistota a z ní se stanoví rozšířená nejistota měření.

P.5.4.1 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A

Při vyhodnocení nejistot měření způsobem A se 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:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{zi} - \bar{I}_z)^2}{n(n-1)}}, u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{oi} - \bar{I}_o)^2}{n(n-1)}} \quad (15), (16)$$

kde I_{zi} a I_{oi} jsou hodnoty výstupního proudu zkoušeného měřidla při zkoušce stoupajícím a klesajícím tlakem, \bar{I}_z a \bar{I}_o jsou aritmetické průměry výstupního proudu při zkoušce stoupajícím a klesajícím tlakem a n je počet měření ($n = 3$).

Příklad vyhodnocení standardní nejistoty měření typu A převodníku tlaku pro zkušební bod 1 700 kPa z naměřených hodnot při zkouškách stoupajícím a klesajícím tlakem:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{zi} - \bar{I}_z)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(17,0014 - 17,00138)^2 + (17,0014 - 17,00138)^2 + (17,0013 - 17,00138)^2}{3(3-1)}} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ mA}$$

$$u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{oi} - \bar{I}_o)^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{(17,0005 - 17,00065)^2 + (17,0007 - 17,00065)^2 + (17,0007 - 17,00065)^2}{3(3-1)}} = 6,7 \cdot 10^{-5} \text{ mA}$$

P.5.4.2 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 jejich hodnoty z_i . Stanoví se typ rozdělení podle charakteru mezi z literatury nebo kalibračního listu. Typ rozdělení je charakterizován koeficientem k_C . Dále se stanoví citlivostní koeficienty A_i k jednotlivým příspěvkům nejistoty.

Nejistota typu B se stanoví z dílčích příspěvků – zdrojů nejistot podle vztahu:

$$u_{B_i}^2 = \sum_{i=1}^{N_B} A_i^2 \cdot \left(\frac{z_i}{k_i}\right)^2, \quad (17)$$

Kde z_i je odhad hodnoty dílčího příspěvku, A_i je citlivostní koeficient a k_i je dělitel vyplývající z charakteru pravděpodobnostního rozdělení příspěvku – zdroje nejistoty a N_B je počet dílčích příspěvků nejistoty typu B.

V případě převodníků tlaku s analogovým výstupním signálem se doporučuje uvažovat minimálně následující zdroje nejistot měření:

- nejistotu etalonu u_{et} ,
- nejistota měření elektrického výstupního signálu, s dílčími nejistotami:
 - nejistota multimetru u_M ;
 - nejistota rozlišení odečtu měřeného výstupního signálu u_d ;
 - nejistota etalonového odporu (při nepřímém měření proudu) u_R .
 - odlehlost referenčních úrovní etalonového tlakoměru a zkoušeného měřidla.

V závislosti na podmínkách měření mohou být uvažovány i další příspěvky k nejistotě typu B, např. vliv změny teploty okolí atd.

Nejistoty jsou uvedeny v kalibračních listech použitých etalonů a zařízení, nebo se určí z největších dovolených chyb použitých etalonů a zařízení v daném zkušebním bodě.

V případě, že je nejistota uvedena v kalibračním listu, je třeba dbát na to, v jakém tvaru je tato nejistota měření uvedena. Jedná-li se o rozšířenou nejistotu měření U_i , musí zde být uveden i koeficient rozšíření k_i , pro který byla tato nejistota vypočítána. Příspěvek nejistoty měření se potom určí dle vztahu:

$$u_i = \frac{U_i}{k_i} \quad (18)$$

V případě, že kalibrační list s uvedenou nejistotou měření není k dispozici, určí se nejistota u_i z největší dovolené chyby v daném zkušebním bodě δ_i . Příspěvek nejistoty měření je potom daná vztahem:

$$u_i = \frac{\delta_i}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Citlivostní koeficient A_i dílčího příspěvku nejistoty se vypočítá z parciální derivace modelu měření podle dílčího příspěvku. Pro vyhodnocení měření se doporučuje použít diferenční model měření; kdy chyba měření Δ je daná vztahem:

$$\Delta = p_I - p_{et} + k_M + k_d + k_R + k_h, \quad (20)$$

kde p_I je indikace zkoušeného měřidla, p_{et} je indikace etalonu (případně hodnota ideálního výstupního signálu vypočítaná z indikace etalonu pomocí přenosové funkce měřidla, viz přílohu 3),

k_M je korekce stanovení výstupního signálu, k_d je korekce způsobená rozlišením odečtu výstupního signálu, k_R je korekce způsobená nepřímým odečtem výstupního signálu, k_h je korekce způsobená odlehlostí etalonu a zkoušeného měřidla. Vyhodnocení se provede pro každý bod měření, zvlášť pro zvyšování tlaku (zatěžování) a snižování tlaku (odlehčování).

Citlivostní koeficient A_X příspěvku X tedy je:

$$A_X = \frac{\partial \Delta_i}{\partial X_i} \quad (21)$$

Dílčí příspěvky nejistoty typu B:

Nejistota měření etalonového tlakoměru – u_{et}

Podle výše uvedeného se uvažuje se hodnota nejistoty z kalibračního listu etalonu, včetně dlouhodobé stability měřidla. Nejistota měření etalonového tlakoměru se potom určí dle vztahu:

$$u_{et} = \frac{U_{et}}{k_{et}} \quad (22)$$

, kde U_{et} je rozšířená nejistota měření z kalibračního listu a k_{et} je koeficient rozšíření, pro který byla tato nejistota vypočítána.

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:

$$u_{et} = \frac{\delta_{et}}{\sqrt{3}} \quad (23)$$

Citlivostní koeficient A_{et} je dán vztahem:

$$A_{et} = \frac{\partial \Delta_i}{\partial P_{ei}} = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(P_{max} - P_{min})} \quad (24)$$

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Nejistota měření etalonu tlaku U_{et} uvedená v kalibračním listu je 0,01 % měřené hodnoty v rozsahu nad 600 kPa, při tlaku 1 300 kPa to tedy je 0,13 kPa. Kalibrační list měřidla uvádí normální rozdělení nejistoty s koeficientem rozšíření $k = 2$. Pro příspěvek nejistoty u_{et} je tedy:

$$u_{et} = \frac{0,130}{2} = 0,065 \text{ kPa}$$

Citlivostní koeficient A_{et} :

$$A_{et} = \frac{16}{1600} = 0,01 \text{ mA} \cdot \text{kPa}^{-1}$$

Nejistota multimetru – u_M

Uvažuje se hodnota nejistoty z kalibračního listu etalonu, včetně dlouhodobé stability měřidla, nebo maximální dovolená chyba multimetru. Pro stanovení příspěvku nejistoty se použijí stejná pravidla jako výše.

POZNÁMKA: Nejistota kalibrace bývá u běžných digitálních multimetrů nízká ve srovnání s jejich maximální dovolenou chybou anebo dlouhodobou stabilitou. Proto se při výpočtu příspěvku nejistoty doporučuje použít jejich maximální dovolenou chybu δ_M s dělitelem $\sqrt{3}$.

Citlivostní koeficient A_M je dán vztahem:

$$A_M = \frac{\partial \Delta}{\partial u} = \frac{1}{R}, \quad (25)$$

kde u je napětí (resp. veličina odečtu měření výstupního signálu), R je odpor, resp. hodnota etalonového odporu [$k\Omega$].

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Uvažovaná přesnost multimetru, resp. nejistota měření multimetru je $5 \cdot 10^{-5} \text{ V} + 0,0035 \%$ měřené hodnoty. Průměrná hodnota měřené veličiny byla 1,700037 V. Hodnota příspěvku nejistoty u_M

$$u_M = \frac{\delta_M}{\sqrt{3}} = \frac{1,10 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 6,3 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

Citlivostní koeficient A_M :

$$A_M = \frac{1}{0,099994037} = 10,000596 \cong 10 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

Nejistota rozlišení odečtu měřeného výstupního signálu

Standardní nejistota měření u_d je dána rozlišením odečtu d měřeného výstupního signálu (většinou odpovídá poslední platné číslici výstupního signálu). Pokud se však indikace tlakem nezatíženého měřidla mění více než poslední platná číslice, použije se jako rozlišení rozpětí této změny indikace.

$$u_d = \frac{d/2}{\sqrt{3}} \quad (26)$$

Hodnota citlivostního koeficient A_d je stejná jako hodnota citlivostního koeficientu nejistoty multimetru, viz (25) výše.

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Rozlišení odečtu měřeného úbytku napětí na etalonovém odporu bylo 0,00001 V. Hodnota příspěvku nejistoty u_d tedy je:

$$u_d = \frac{\frac{1 \cdot 10^{-5}}{2}}{\sqrt{3}} = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ V}$$

Citlivostní koeficient A_d :

$$A_d = \frac{1}{0,099994037} = 10,00059634 \cong 10 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$$

Nejistota etalonového odporu

Uplatní se pouze při proudovém výstupu měřidla a nepřímém měření úbytku napětí na etalonovém odporu, jinak platí $u_R = 0$.

Uvažuje se hodnota nejistoty z kalibračního listu etalonového odporu, včetně dlouhodobé stability, nebo maximální dovolená chyba etalonového odporu. Pro stanovení příspěvku nejistoty se použijí stejná pravidla jako výše.

Citlivostní koeficient A_R je dán vztahem:

$$A_M = \frac{\partial \Delta}{\partial R} = -\frac{u_i}{R^2}, \quad (27)$$

kde u_i je hodnota měřeného úbytku napětí na etalonovém odporu v daném zkušebním bodě, R je odpor, resp. hodnota etalonového odporu [$k\Omega$]. Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Nejistota hodnoty etalonového odporu U_R uvedená v kalibračním listu je $8,8 \cdot 10^{-8}$ k Ω . Kalibrační list měřidla uvádí normální rozdělení nejistoty s koeficientem rozšíření $k = 2$. Pro příspěvek nejistoty u_R tedy platí $u_R = \frac{U_R}{2} = \frac{8,8 \cdot 10^{-8}}{2} = 4,4 \cdot 10^{-8}$ k Ω .

Citlivostní koeficient A_{et} :

$$A_R = -\frac{1,700037}{0,099994037^2} = -170,02 \cong -170 \text{ mA} \cdot \text{k}\Omega^{-1}$$

POZNÁMKA: Hodnota citlivostního koeficientu se v případě nepřímého měření proudu pomocí úbytku napětí na etalonovém odporu mění v každém zkušebním bodě.

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:

$$u_h = \frac{h \cdot \rho \cdot g}{\sqrt{3}} \quad (28)$$

kde

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

ρ je hustota tlakového média;

g je hodnota místního tíhového zrychlení.

POZNÁMKA: Hustota tlakového média je závislá na teplotě, tlaku a chemickém složení tlakového média.

Citlivostní koeficient A_h :

$$A_h = A_{et} = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(P_{max} - P_{min})}$$

Za předpokladu, že rozdíl referenčních úrovní je minimální a kdy se jedná o zkoušení plynným médiem, je možné tuto nejistotu zanedbat.

Výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B

Tabulka 3 – Bilanční tabulka odhadu příspěvků nejistot

Zdroj nejistoty, komentář	Odhad mezí, nejistota z_i	Typ rozdělení, koeficient k	Koeficient citlivosti A_i	Standardní nejistota u_i
Etalon – u_{et} Dle kalibračního listu etalonu.	$p = 1300$ kPa $U_{et} = 0,13$ kPa	Normální $k = 2$	$0,010$ $\text{mA} \cdot \text{kPa}^{-1}$	$0,065$ kPa
Multimetr – u_M Dle největších dovolených chyb měřidla.	$I_M = 1,700037$ V $\delta_M = 1,1 \cdot 10^{-4}$ V	Rovnoměrné $k = \sqrt{3}$	≈ 10 $\text{mA} \cdot \text{V}^{-1}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$ V

pokračování

Tabulka 3 - dokončení

Zdroj nejistoty, komentář	Odhad mezí, nejistota z_i	Typ rozdělení, koeficient k	Koeficient citlivosti A_i	Standardní nejistota u_i
Rozlišení – u_d Příspěvek nejistoty rozlišením odečtu d	$d/2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ V}$	Rovnoměrné $k = \sqrt{3}$	$\approx 10 \text{ mA} \cdot \text{V}^{-1}$	$2,9 \cdot 10^{-6} \text{ V}$
Etalonový odpor – u_R Dle kalibračního listu etalonu.	$R = 0,99994037 \text{ k}\Omega$ $U_R = 8,8 \cdot 10^{-8} \text{ k}\Omega$	Normální $k = 2$	$\approx -170 \text{ mA} \cdot \text{k}\Omega^{-1}$	$4,4 \cdot 10^{-8} \text{ k}\Omega$

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:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u_i^2} = \sqrt{A_{\text{et}}^2 \cdot u_{\text{et}}^2 + A_M^2 \cdot u_M^2 + A_d^2 \cdot u_d^2 + A_R^2 \cdot u_R^2} \quad (29)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 1 300 kPa nabývá výsledná standardní nejistota měření vyhodnocená způsobem B následující hodnoty:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{(0,010 \cdot 0,065)^2 + (10,0 \cdot 6,3 \cdot 10^{-5})^2 + (10,0 \cdot 2,9 \cdot 10^{-6})^2 + (-170 \cdot 4,4 \cdot 10^{-8})^2} \\ &= \sqrt{8,2030 \cdot 10^{-7}} = 0,000906 \text{ mA} \end{aligned}$$

P.5.4.3 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:

$$u_C = \sqrt{u_A + u_B} \quad (30)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 1 300 kPa při stoupajícím tlaku nabývá kombinovaná standardní nejistota následující hodnoty:

$$u_C = \sqrt{u_A + u_B} = \sqrt{0,000033^2 + 0,000906^2} \cong 0,000907$$

P.5.4.4 Rozšířená nejistota měření

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

$$U = k \cdot u_C \quad (31)$$

kde k je koeficient rozšíření.

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

P.5.4.4.1 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 4 – Koeficienty rozšíření dle počtu efektivních stupňů volnosti

v_{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 v_{eff} se provede dle Welch-Satterthwaitova vztahu:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (32)$$

kde:

u je kombinovaná nejistota,

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

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

n je počet opakování měření.

POZNÁMKA: výše uvedený pak přejde na:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u_C^4(y)}{u_A^4(y)} \cdot (n - 1) \quad (33)$$

Kde u_C je kombinovaná nejistota, u_A je nejistota typu A a n je počet opakovaných měření (běžně 3). Pokud vypočtená hodnota v_{eff} není celé číslo, provede se její zaokrouhlení na nejbližší menší hodnotu uvedenou v tabulce 4.

Je-li vypočtená hodnota $v_{\text{eff}} > 200$, lze položit $k = 2,00$.

POZNÁMKA: Pro automatizované vyhodnocení nejistoty měření lze v prostřední MS Excel použít k výpočtu koeficientu rozšíření k na základě znalosti počtu efektivních stupňů volnosti funkci TINV, případně T.INV.2T u verzí 2007 a vyšších, se zadanou úrovní pravděpodobnosti 4,55 %. Například obsahuje-li buňka A1 číslo rovné počtu stupňů volnosti v_i , pak vzorec pro výpočet koeficientu rozšíření může vypadat takto: =TINV(0,0455;A1)

Hodnotu v buňce A1 není při tomto postupu nutné zaokrouhlovat dolů na celé číslo, funkce TINV ji zaokrouhlí dolů na celé číslo automaticky.

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 je pro zkušební bod 1 300 kPa (při stoupajícím tlaku) k dispozici pět složek nejistoty (u_{AZ} , u_{et} , u_{mm} , u_d , u_R).

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

$$v_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{(9,07 \cdot 10^{-4})^4}{\frac{(3,33 \cdot 10^{-5})^4}{2} + \frac{(6,50 \cdot 10^{-4})^4}{\infty} + \frac{(6,32 \cdot 10^{-4})^4}{\infty} + \frac{(2,89 \cdot 10^{-5})^4}{\infty} + \frac{(7,48 \cdot 10^{-6})^4}{\infty}} = 2,75 \cdot 10^5$$

Vypočtená hodnota efektivního stupně volnosti v_{eff} je vyšší než 200, a proto se použije koeficient rozšíření $k = 2$. Dosazením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 1 300 kPa při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_C = 2 \cdot 0,000908 = 0,001816 \text{ mA}$$

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: $U \cong 0,0018 \text{ mA}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 5:

Tabulka 5 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota výstupního signálu zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
kPa	mA	mA
100,000	4,9984 ± 0,0011	4,9980 ± 0,0010
400,000	7,9991 ± 0,0011	7,9982 ± 0,0011
700,000	10,9995 ± 0,0012	10,9982 ± 0,0012
1000,000	14,0008 ± 0,0015	13,9999 ± 0,0015
1300,000	17,0014 ± 0,0018	17,0006 ± 0,0018
1600,000	20,0020 ± 0,0021	20,0020 ± 0,0021

P.5.4.4.2 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 1 300 kPa (při stoupajícím tlaku) nabývá kritérium pro posouzení dominance jedné nejistoty následující hodnoty:

$$\frac{\sqrt{u_M^2 + u_d^2 + u_R^2}}{u_{et}} = \frac{\sqrt{(6,32 \cdot 10^{-4})^2 + (2,89 \cdot 10^{-5})^2 + (7,48 \cdot 10^{-6})^2}}{6,50 \cdot 10^{-4}} \cong 1$$

$$\frac{\sqrt{u_{et}^2 + u_d^2 + u_R^2}}{u_M} = \frac{\sqrt{(6,50 \cdot 10^{-4})^2 + (2,89 \cdot 10^{-5})^2 + (7,48 \cdot 10^{-6})^2}}{6,32 \cdot 10^{-4}} \cong 1$$

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 1300 kPa při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,000908 = 0,001816 \text{ mA}$$

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: $U \cong 0,0018 \text{ mA}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 6:

Tabulka 6 – Výsledky měření

Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota výstupního signálu zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
kPa	mA	mA
100,000	4,9984 ± 0,0010	4,9980 ± 0,0010
400,000	7,9991 ± 0,0011	7,9982 ± 0,0011
700,000	10,9995 ± 0,0012	10,9982 ± 0,0012
1000,000	14,0008 ± 0,0015	13,9999 ± 0,0015
1300,000	17,0014 ± 0,0018	17,0006 ± 0,0018
1600,000	20,0020 ± 0,0021	20,0020 ± 0,0021

Příloha 6 (informativní)

Postup stanovení nejistoty měření – převodníky tlaku s digitálním výstupním signálem

P.6.1 Vstupní údaje**Převodník tlaku s digitálním výstupním signálem**

Měřicí rozsah:	(0 až 1 600) kPa, absolutní tlak
Použité médium:	suchý čistý vzduch
Přesnost dle certifikátu schválení typu:	0,075 % nastaveného měřicího rozpětí
Třída přesnosti:	0,1
Výstup měřidla:	digitální, protokol HART
Rozlišení odečtu:	0,001 kPa

Použitý etalonový tlakoměr:

Měřicí rozsah:	(0 až 2 000) kPa, absolutní tlak
Nejistota měření (pro $k = 2$):	0,060 kPa v rozsahu do 600 kPa 0,01 % měřené hodnoty v rozsahu nad 600 kPa

P.6.2 Podmínky okolního prostředí při zkouškách

Teplota okolního prostředí: (19,7 až 20,4) °C

Při měření byla splněna podmínka, aby změna teploty během zkoušek nepřesáhla 1 °C za 10 minut a 3 °C za hodinu.

P.6.3 Vyhodnocení měření

Měření bylo provedeno ve třech měřicích cyklech zahrnujících měření při stoupajícím a klesajícím tlaku. Digitální výstup měřidla byl zobrazen pomocí ručního komunikátoru.

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 6 zkušebních bodů rozložených v celém měřicím rozsahu.

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty

Konvenční hodnota tlaku	1. série měření		2. série měření		3. série měření	
	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování	zatěžování	odlehčování
kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
100	99,899	99,827	99,844	99,798	99,833	99,804
400	399,906	399,778	399,903	399,801	399,933	399,799
700	699,956	699,845	699,932	699,774	699,941	699,828
1000	1000,098	1000,042	1000,087	999,972	1000,087	999,997
1300	1300,143	1300,021	1300,146	1300,072	1300,107	1300,054
1600	1600,200	1600,200	1600,195	1600,195	1600,209	1600,209

P.6.3.1 Stanovení průměrných hodnot z opakovaných měření

Aritmetický průměr hodnot výstupního digitálního signálu při zkouškách stoupajícím tlakem \overline{P}_z a při zkouškách klesajícím tlakem \overline{P}_o se stanoví z n měření dle následujících vztahů:

$$\overline{P}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{zi}, \overline{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{oi} \quad (34), (35)$$

Příklad stanovení průměrné hodnoty z opakovaných zkoušek stoupajícím a klesajícím tlakem u zkoušeného převodníku tlaku pro zkušební bod 1300 kPa:

$$\overline{P}_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{zi} = \frac{1}{3} (1300,143 + 1300,146 + 1300,107) = 1300,1320 \text{ kPa}$$

$$\overline{P}_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{oi} = \frac{1}{3} (1300,021 + 1300,072 + 1300,054) = 1300,0490 \text{ kPa}$$

P.6.4 Stanovení nejistot měření

Stanovení nejistot měření se provede ve shodě s dokumentem EA-4/02. Identifikují se zdroje nejistot a stanoví se hodnoty příspěvků těchto zdrojů nejistot. Následně se provede výpočet nejistot typu A a B, vypočte se kombinovaná nejistota a z ní se stanoví rozšířená nejistota měření

P.6.4.1 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A

Při vyhodnocení nejistot měření způsobem A se 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:

$$u_{Az} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{zi} - \overline{P}_z)^2}{n(n-1)}}, u_{Ao} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{oi} - \overline{P}_o)^2}{n(n-1)}} \quad (36), (37)$$

kde P_{zi} a P_{oi} jsou hodnoty výstupního signálu zkoušeného měřidla při zkoušce stoupajícím a klesajícím tlakem, \overline{P}_z a \overline{P}_o jsou aritmetické průměry výstupního proudu při zkoušce stoupajícím a klesajícím tlakem a n je počet měření ($n = 3$).

Příklad vyhodnocení standardní nejistoty měření převodníku tlaku pro zkušební bod 1 700 kPa z naměřených hodnot při zkouškách stoupajícím a klesajícím tlakem:

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

$$= \sqrt{\frac{(1300,1320 - 1300,1430)^2 + (1300,1320 - 1300,1460)^2 + (1300,1320 - 1300,1070)^2}{3(3-1)}} = 0,0125 \text{ kPa}$$

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

$$= \sqrt{\frac{(1300,0490 - 1300,0210)^2 + (1300,0490 - 1300,0720)^2 + (1300,0490 - 1300,0540)^2}{3(3-1)}} = 0,0149 \text{ kPa}$$

P.6.4.2 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 z_i . Stanoví se typ rozdělení podle charakteru mezí z literatury nebo kalibračního listu. Typ rozdělení je charakterizován koeficientem k_C . Dále se stanoví citlivostní koeficienty k jednotlivým příspěvkům nejistoty.

Nejistota typu B se stanoví z dílčích příspěvků – zdrojů nejistot podle vztahu:

$$u_{B_i}^2 = \sum_{i=1}^{N_B} A_i^2 \cdot \left(\frac{z_i}{k_i}\right)^2, \quad (38)$$

Kde z_i je odhad hodnoty dílčího příspěvku, A_i je citlivostní koeficient a k_i je dělitel vyplývající z charakteru pravděpodobnostního rozdělení příspěvku – zdroje nejistoty a N_B je počet dílčích příspěvků nejistoty typu B.

V případě převodníků tlaku s digitálním výstupním signálem se doporučuje uvažovat minimálně následující zdroje nejistot měření:

- nejistotu etalonu u_{et} ,
- nejistota rozlišení odečtu měřeného výstupního signálu u_d
- odlehlost referenčních úrovní etalonového tlakoměru a zkoušeného měřidla.

V závislosti na podmínkách měření mohou být uvažovány i další příspěvky k nejistotě typu B, např. vliv změny teploty okolí atd.

Nejistoty jsou uvedeny v kalibračních listech použitých etalonů a zařízení, nebo se určí z největších dovolených chyb použitých etalonů a zařízení v daném zkušebním bodě.

V případě, že je nejistota uvedená v kalibračním listu, je třeba dbát na to, v jakém tvaru je tato nejistota měření uvedena. Jedná-li se o rozšířenou nejistotu měření U_i , musí zde být uveden i koeficient rozšíření k_i , pro který byla tato nejistota vypočítána. Příspěvek nejistoty měření se potom určí dle vztahu:

$$u_i = \frac{U_i}{k_i} \quad (39)$$

V případě, že kalibrační list s uvedenou nejistotou měření není k dispozici, určí se nejistota u_i z největší dovolené chyby v daném zkušebním bodě δ_i . Nejistota měření je potom dána vztahem:

$$u_i = \frac{\delta_i}{\sqrt{3}} \quad (40)$$

Citlivostní koeficient A_i dílčího příspěvku nejistoty se vypočítá z parciální derivace modelu měření podle dílčího příspěvku. Pro vyhodnocení měření se doporučuje použít diferenční model měření; kdy chyba měření Δ je daná vztahem:

$$\Delta = p_I - p_{et} + k_d + k_h, \quad (41)$$

kde p_I je indikace zkoušeného měřidla, p_{et} je indikace etalonu (případně hodnota ideálního výstupního signálu vypočítaná z indikace etalonu pomocí přenosové funkce měřidla, viz přílohu 3), k_d je korekce způsobená rozlišením odečtu výstupního signálu, k_h je korekce způsobená odlehlostí etalonu a zkoušeného měřidla. Vyhodnocení se provede pro každý bod měření, zvláště pro zvyšování tlaku (zatěžování) a snižování tlaku (odlehčování).

Citlivostní koeficient A_X příspěvku X tedy je:

$$A_X = \frac{\partial \Delta_i}{\partial X_i} \quad (42)$$

Dílčí příspěvky nejistoty typu B:

Nejistota měření etalonového tlakoměru

Podle výše uvedeného se uvažuje se hodnota nejistoty z kalibračního listu etalonu, včetně dlouhodobé stability měřidla. Nejistota měření etalonového tlakoměru se potom určí dle vztahu:

$$u_{et} = \frac{U_{et}}{k_{et}} \quad (43)$$

kde U_{et} je rozšířená nejistota měření z kalibračního listu a k_{et} je koeficient rozšíření, pro který byla tato nejistota vypočítána.

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:

$$u_{et} = \frac{\delta_{et}}{\sqrt{3}} \quad (44)$$

Citlivostní koeficient A_{et} je dán vztahem:

$$A_{et} = \frac{\partial \Delta_{pi}}{\partial P_{ei}} = -1 \quad (45)$$

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Nejistota měření etalonu tlaku U_{et} uvedená v kalibračním listu je 0,01 % měřené hodnoty v rozsahu nad 600 kPa, při tlaku 1 300 kPa to tedy je 0,13 kPa. Kalibrační list měřidla uvádí normální rozdělení nejistoty s koeficientem rozšíření $k = 2$. Pro příspěvek nejistoty u_{et} je tedy:

$$u_{et} = \frac{0,130}{2} = 0,065 \text{ kPa}$$

Citlivostní koeficient A_{et} :

$$A_{et} = -1$$

Nejistota rozlišení odečtu měřeného výstupního signálu

Standardní nejistota měření u_d je dána rozlišením odečtu d měřeného výstupního signálu (většinou odpovídá poslední platné číslici výstupního signálu). Pokud se však indikace tlakem nezátíženého měřidla mění více než poslední platná číslice, použije se jako rozlišení rozpětí této změny indikace.

$$u_d = \frac{d/2}{\sqrt{3}} \quad (46)$$

Příklad stanovení standardní nejistoty měření etalonového tlakoměru pro zkušební bod 1 300 kPa, zvyšování tlaku:

Rozlišení odečtu výstupního digitálního signálu bylo 0,001 kPa. Hodnota příspěvku nejistoty u_d tedy je:

$$u_d = \frac{0,001}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,0003 \text{ kPa}$$

Citlivostní koeficient A_d :

$$A_d = 1$$

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:

$$u_h = \frac{h \cdot \rho \cdot g}{\sqrt{3}} \quad (47)$$

kde

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

ρ je hustota tlakového média;

g je hodnota místního tíhového zrychlení.

POZNÁMKA: hustota tlakového média je závislá na teplotě, tlaku a chemickém složení tlakového média

Citlivostní koeficient A_h :

$$A_h = 1$$

Za předpokladu, že rozdíl referenčních úrovní je minimální a kdy se jedná o zkoušení plynným médiem, je možné tuto nejistotu zanedbat.

Výsledná nejistota měření vyhodnocená způsobem B

Tabulka 8 – Bilanční tabulka odhadu příspěvků nejistot

Zdroj nejistoty, komentář	Odhad mezí, nejistota	Typ rozdělení, koeficient k	Koeficient citlivosti A_i	Standardní nejistota u_i
Etalon – u_{et} Dle kalibračního listu etalonu.	$p = 1300 \text{ kPa}$ $U_{et} = 0,13 \text{ kPa}$	Normální $k = 2$	1	0,0650 kPa
Rozlišení – u_d Příspěvek nejistoty rozlišením odečtu d	$d = 0,001 \text{ kPa}$	Rovnoměrné $k = \sqrt{3}$	1	0,0003 kPa

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:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u_i^2} = \sqrt{A_{et}^2 \cdot u_{et}^2 + A_d^2 \cdot u_d^2} \quad (48)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 1 300 kPa nabývá výsledná standardní nejistota měření vyhodnocená způsobem B následující hodnoty:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{(1 \cdot 0,0650)^2 + (1 \cdot 0,0003)^2} \\ &= \sqrt{0,00422} = 0,0650 \text{ kPa} \end{aligned}$$

P.6.4.3 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:

$$u_C = \sqrt{u_A + u_B} \quad (49)$$

Pro řešený příklad a pro zkušební bod 1 300 kPa při stoupajícím tlaku nabývá kombinovaná standardní nejistota následující hodnoty:

$$u_C = \sqrt{u_A + u_B} = \sqrt{0,01250^2 + 0,0650^2} \cong 0,0662$$

P.6.4.4 Rozšířená nejistota měření

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

$$U = k \cdot u_C \quad (50)$$

kde k je koeficient rozšíření.

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

P.6.4.4.1 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 9 – 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:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} \quad (51)$$

kde:

u je kombinovaná nejistota,

u_i ($i = 1, 2, \dots, N$) je příspěvek k nejistotě stanovení chyby kalibrovaného 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 $\nu_i \rightarrow \infty$,

n je počet opakování měření.

POZNÁMKA: výše uvedený pak přejde na:

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_C^4(y)}{u_A^4(y)} \cdot (n - 1) \quad (52)$$

kde u_C je kombinovaná nejistota, u_A je nejistota typu A a n je počet opakovaných měření (běžně 3).

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

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

POZNÁMKA: Pro automatizované vyhodnocení nejistoty měření lze v prostřední MS Excel použít k výpočtu koeficientu rozšíření k na základě znalosti počtu efektivních stupňů volnosti funkci $TINV$, případně $T.INV.2T$ u verzí 2007 a vyšších, se zadanou úrovní pravděpodobnosti 4,55 %. Například obsahuje-li buňka A1 číslo rovné počtu stupňů volnosti ν_i , pak vzorec pro výpočet koeficientu rozšíření může vypadat takto: $=TINV(0,0455;A1)$

Hodnotu v buňce A1 není při tomto postupu nutné zaokrouhlovat dolů na celé číslo, funkce $TINV$ ji zaokrouhlí dolů na celé číslo automaticky.

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 1 300 kPa (při stoupajícím tlaku) k dispozici tři složky nejistoty (u_{Az} , u_{et} , u_d).

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

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} = \frac{(0,0662)^4}{\frac{(0,01250)^4}{2} + \frac{(0,0650)^4}{\infty} + \frac{(0,0003)^4}{\infty}} = 390$$

Vypočtená hodnota efektivního stupně volnosti ν_{eff} je vyšší než 200, a proto se použije koeficient rozšíření $k = 2$.

Dosažením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 1300 kPa při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,0662 = 0,1334 \text{ kPa}$$

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: $U \cong 0,13 \text{ kPa}$

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 výstupního signálu zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
kPa	kPa	kPa
100,00	99,86 ± 0,08	99,81 ± 0,06
400,00	399,91 ± 0,06	399,79 ± 0,06
700,00	699,94 ± 0,07	699,82 ± 0,10
1000,00	1000,09 ± 0,10	1000,00 ± 0,11
1300,00	1300,13 ± 0,13	1300,05 ± 0,13
1600,00	1600,20 ± 0,16	1600,20 ± 0,16

P.6.4.4.2 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 1 300 kPa (při stoupajícím tlaku) nabývá kritérium pro posouzení dominance jedné nejistoty následující hodnoty:

$$\frac{\sqrt{u_d^2}}{u_{et}} = \frac{\sqrt{(3 \cdot 10^{-4})^2}}{6,50 \cdot 10^{-2}} \cong 0,005$$

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

Dosažením do vzorce pro rozšířenou nejistotu měření se získá výsledná hodnota rozšířené nejistoty měření pro zkušební bod 1300 kPa při stoupajícím tlaku:

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 0,0662 = 0,1334 \text{ kPa}$$

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: $U \cong 0,13 \text{ kPa}$

Provede-li se tímto způsobem vyhodnocení u všech zkušebních bodů, pak lze prezentovat výsledky formou tabulky 11:

Tabulka 11 – Výsledky měření

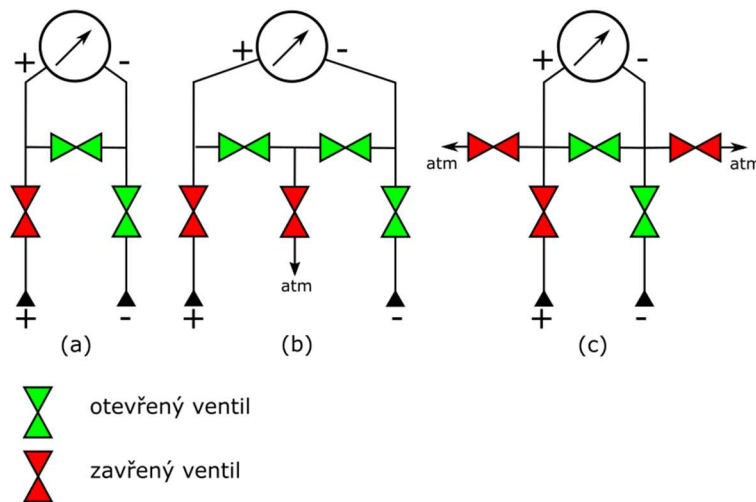
Konvenční hodnota tlaku	Střední hodnota výstupního signálu zkoušeného měřidla včetně nejistoty měření	
	zatěžování	odlehčování
kPa	kPa	kPa
100,00	99,86 ± 0,07	99,81 ± 0,06
400,00	399,91 ± 0,06	399,79 ± 0,06
700,00	699,94 ± 0,07	699,82 ± 0,08
1000,00	1000,09 ± 0,10	1000,00 ± 0,11
1300,00	1300,13 ± 0,13	1300,05 ± 0,13
1600,00	1600,20 ± 0,16	1600,20 ± 0,16

Příloha 7 (informativní)

Nulování převodníků diferenčního tlaku na místě instalace

Po instalaci měřidla před vlastním uvedením do provozu musí být vždy provedena kontrola nulové hodnoty výstupního signálu. V případě neshodné indikace měřidla musí být provedeno vynulování převodníku diferenčního tlaku. Kontrola a případné vynulování se provede přednostně při hodnotě používaného provozního statického tlaku.

Při kontrole i vynulování je potřeba vyrovnat otevřením ventilů tlak na obou vstupech měřidla, viz obrázek 1. Převodní diferenčního tlaku se přednostně vynuluje při hodnotě statického tlaku za diferenčním prvkem.



Obrázek 1 – Schéma ventilových souprav při nulování, třicestná – (a) a pěticestná (b +c)

Vynulování je možné provést dvěma způsoby:

- vynulování polohou,
- nebo vynulování pomocí konfigurátoru či nastavovacích prvků měřidla.

V prvním případě se poloha převodníku diferenčního tlaku upraví tak, aby se hodnota výstupního signálu ustálila na nulové hodnotě.

Ve druhém případě je potřeba nejprve odemknout zabezpečení měřidla (přepnutím přepínače, zadáním hesla atd.), což většinou vyžaduje porušení úřední značky ověření na víku, přepínači zabezpečení atd. Následně se měřidlo vynuluje pomocí nulovacího příkazu, stiskem tlačítka apod.

Po úspěšném vynulování měřidla se nastavovací prvky opětovně zabezpečí proti neoprávněnému zásahu a obnoví se případné porušené úřední značky ověření.

Nulování nesmí provádět neoprávněná osoba (montážní organizace, uživatel měřidla...).

Je nutné důsledně rozlišovat, a nezaměnit, nulování (Zero trim) a nastavení počátku rozsahu (justáž, Zero, LRV...). Justáž mění kalibrační křivku měřidla, nulování (zadáním příkazu „Zero trim“ přes komunikátor, obdobnou volbou v menu měřidla apod...) kalibrační křivku beze změny jejího tvaru (sklonu...) posune do „nulového“ bodu. Justáží dochází ke změně metrologických vlastností měřidla, čímž zaniká ověření měřidla.

Příloha 8 (informativní)

Kompenzace výšky vodního sloupce

Kompenzace výšky vodního sloupce se použije u převodníků tlaku používaných pro měření tepla předaného vodní párou, kdy je převodník statického tlaku umístěn pod snímačem průtoku.

Pro nastavení korekce je potřeba nejprve odemknout zabezpečení měřidla (přepnutím přepínače, zadáním hesla atd.), což většinou vyžaduje porušení úřední značky ověření na víku, přepínači zabezpečení atd.

Po úspěšném nastavení kompenzace výšky vodního sloupce se nastavovací prvky opětovně zabezpečí proti neoprávněnému zásahu a obnoví se případné porušené úřední značky ověření.

Nastavení korekce vodního sloupce nesmí provádět neoprávněná osoba (montážní organizace, uživatel ...).

Hodnota kompenzace se:

- **Zjistí experimentálně z hodnoty hydrostatického tlaku**

V tomto případě se nejprve odpojí impulzní potrubí od měřicího systému a změří se hodnota atmosférického tlaku p_0 v místě umístění převodníku tlaku. Následně se odečte hodnota tlaku p_1 indikovaná převodníkem tlaku připojeným k impulznímu vedení s vodním sloupcem, impulzní vedení musí být odpojeno od měřicího systému. Z obou hodnot se vypočítá hodnota korekce p_k podle vztahu:

$$p_k = p_1 - p_0 \quad (53)$$

- **Vypočítá se z výšky vodního sloupce pomocí vztahu:**

$$p_k = h \cdot \rho \cdot g, \quad (54)$$

kde h je výška vodního sloupce změřená kalibrovaným měřidlem, g je místní tíhové zrychlení, ρ je hustota vody vypočítaná z průměrné teploty vodního sloupce t , např. podle vztahu:

$$\rho = 1000,7 - 0,1139 \cdot t - 0,0032 \cdot t^2, \quad (\text{pro } t > 10 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (55)$$

Následně se na převodníku tlaku nastaví kompenzace výšky vodního sloupce:

- nastavením offsetu o hodnotu p_k , nebo
- posunutím celého měřicího rozsahu o hodnotu p_k , nebo
- jiným vhodným způsobem.

Alternativním přístupem je nastavení kompenzace výšky vodního sloupce již během ověření měřidla. V tomto případě se nejprve nastaví na převodníku tlaku kompenzace p_k (viz výše). Při následném měření a vyhodnocení je potřeba korigovat indikaci měřidla nebo etalonu:

- buď se indikace měřidla před dalším vyhodnocením v celém rozsahu koriguje o hodnotu $-p_k$ (ve všech bodech se k hodnotě tlaku indikovaného měřidlem přičítá hodnota p_k ; indikace etalonu se nekoriguje), nebo
- indikace etalonu se před dalším vyhodnocením v celém rozsahu koriguje o hodnotu $+p_k$ (ve všech bodech se od hodnoty tlaku indikované etalonem odečítá hodnota p_k ; indikace měřidla se nekoriguje).

Po správně provedené korekci vlivu vodního sloupce indikuje měřidlo po připojení k impulznímu potrubí (odpojenému od měřicího systému) hodnotu okolního atmosférického tlaku.

Příloha 9 (informativní)

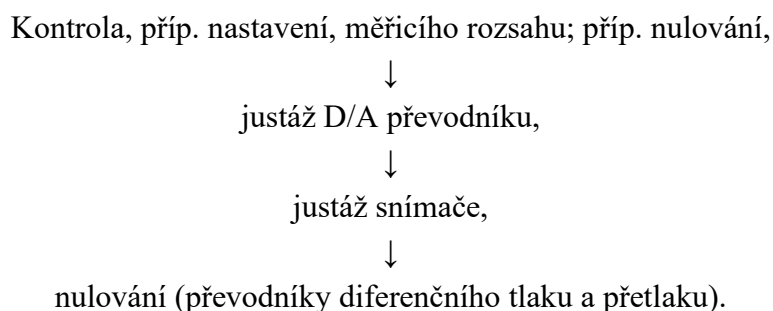
Obecné možnosti justáže a nastavení převodníků tlaku

U některých převodníků tlaku je možné provést justáž a nastavení různých parametrů měřidla a výstupního signálu. Ačkoli použití některých nastavovacích prvků vede k podobným výsledkům, není pro celkovou správnost měření vhodné jednotlivé nastavovací prvky zaměňovat. Pro nastavení je většinou nutné použití komunikátoru nebo vhodného softwaru. Ve všech případech se doporučuje postupovat podle manuálu k danému měřidlu.

Převodníky tlaku (většinou) umožňují nastavení následujících parametrů:

- Justáž snímače (tzv. Sensor Trim / Calibration), kdy proběhne jedno- či vícebodová justáž snímače tlaku. Tato funkce většinou není přímo přístupná pomocí tlačítek Zero, Span (viz níže) a je nutné použití komunikátoru a etalonu tlaku.
- Nulování u převodníků diferenčního tlaku a příp. přetlaku (Tzv. Zero Trim...), viz příloha 8, toto nastavení posune kalibrační křivku do nového nulového bodu. I toto nastavení nemusí být přístupné pomocí tlačítek.
- Nastavení měřicího rozsahu (Set URL, LRV, Rerange ...), použití těchto funkcí mění parametry nastaveného měřicího rozsahu. Například u měřidel s unifikovaným proudovým výstupním signálem (4 až 20) mA přestavuje mezní hodnoty rozsahu (odpovídající hodnotám 4 mA a 20 mA). Tyto funkce jsou většinou snadno dostupné pomocí nastavovacích tlačítek (Zero; Span). Například stiskem tlačítka Span dochází k přestavení měřidla, kdy nová horní mez rozsahu a tomu odpovídající výstup měřidla se rovná aktuálně měřené hodnotě tlaku.
- Justáž D/A převodníku (Trim loop...) kdy proběhne jedno- či vícebodová justáž D/A převodníku výstupního analogového signálu. Pro justáž D/A převodníku je nezbytné použití multimetru. Tato funkce také většinou není přímo přístupná pomocí tlačítek, a tedy je nutné použití komunikátoru.

V případě neshodné indikace a požadavku na justáž (nebo přestavení měřicího rozsahu) měřidla je vhodné postupovat následovně:



Obsah

Úvod	4
1 Všeobecná ustanovení	4
2 Související normy a předpisy	5
3 Pojmy, termíny, definice a použité zkratky	5
4 Technické vybavení AMS	6
5 Podmínky v průběhu zkoušek	6
5.1 Podmínky okolního prostředí při zkouškách	6
5.2 Ostatní podmínky	6
6 Postup zkoušek	7
6.1 Vizualní prohlídka	7
6.2 Zajištění podmínek funkčních zkoušek	8
6.3 Funkční zkoušky	9
6.3.1 Největší dovolená chyba a třídy přesnosti	9
6.3.2 Zkouška přesnosti	10
7 Vyhodnocení zkoušek	11
7.1 Záznam hodnot při zkouškách	11
7.2 Chyba zkoušeného měřidla	11
7.3 Značení zkoušených měřidel	11
7.4 Zamítnutí ověření	12
8 Přílohy	12
9 Účinnost	13
Příloha 1	14
Příloha 2	15
Příloha 3	16
Příloha 4a	17
Příloha 4b	18
Příloha 4c	19
Příloha 5	20
Příloha 6	31
Příloha 7	40
Příloha 8	41
Příloha 9	42

MP 025

MĚŘICÍ PŘEVODNÍKY TLAKU

POSTUP ZKOUŠENÍ PŘI OVĚŘOVÁNÍ

Vydání: únor 2021

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