



**Česká metrologická společnost, z. s.**

Novotného lávka 200/5, 110 00 Praha 1

tel/fax: 221 082 254, 606 957 233

e-mail: [cms-zk@csvts.cz](mailto:cms-zk@csvts.cz)

[www.spolky-csvts.cz/cms](http://www.spolky-csvts.cz/cms)

## **KALIBRAČNÍ POSTUP**

**KP 2.5.2/01/23**

# **Měřicí a regulační řetězce teplotních a klimatických komor**

**Praha**

září 2023

## 1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na měřicí řetězec teploty (teploty a vlhkosti), který je součástí teplotní (klimatické) komory a obvykle se skládá ze snímače teploty (vlhkosti), zabudovaného v identifikovaném místě teplotní nebo klimatické komory a zobrazovací jednotky (panelové měřidlo – indikátor, regulátor, ovládací dotykový panel, ovládací PC apod.). Vzhledem k tomu, že kalibrace ukazatele parametrů komory je pro uživatele pouze dílčí úkon, který nedává přehled o prostorovém chování teploty (vlhkosti), bývá pojmem „kalibrace“ nazývána v literatuře včetně citovaných norem i tzv. *CHARAKTERIZACE* komory. Tento komplexní postup zjišťuje navíc homogenitu a stabilitu parametrů příp. další vlastnosti a chování zařízení. Výsledky těchto zkoušek mohou být přílohou nebo součástí kalibračního listu, jehož hlavní náplní je zjištění odchylky nastaveného a zobrazeného parametru od jeho pravé hodnoty měřené etalonem.

V úvodu je třeba zdůraznit, že tento postup se vztahuje na indikátory zařízení, která mají charakter tepelných či klimatických zkušebních komor s přirozenou i nucenou konvekcí vzduchu bez vnitřního přetlaku či podtlaku (např. sušárny, biologické termostaty, temperační a sušící zařízení, mrazicí boxy s indikací a regulací teploty apod.). **Postup nelze aplikovat** na termostatické lázně s kapalným médiem (jak kalibrační, tak zkušební), speciální přístupy vyžadují také teplotní komory s vnitřním přetlakem (autoklávy) nebo podtlakem (vakuové sušárny), příp. měření podmínek v chlazených nebo temperovaných skladech.

### 1.1 Princip kalibrace

Kalibrace je prováděna metodou přímého porovnání údajů kalibrovaného měřidla (vesměs digitálního) s údajem etalonu. Měřicí řetězec se kalibruje jako celek (L11 a L13 zmiňují také oddělenou kalibraci snímače a indikátoru, která přichází v úvahu při výrobě nebo opravě měřicího řetězce). Metodika kalibrace je úzce spjata s konkrétním používáním komory a primárně vychází vždy z požadavků zákazníka.

## 2 Související normy, předpisy a literatura

- L1: (011300) ČSN EN ISO 80000-1: Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně. Vyd. 06/2023.
- L2: (015253) ČSN EN ISO/IEC 17025: Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří. Vyd. 05/2018.
- L3: (180001) ČSN EN 61298-2 ed.2: Zařízení pro měření a řízení průmyslových procesů – Obecné metody a postupy pro hodnocení vlastností. Část 2: Zkoušky při referenčních podmínkách. Vyd. 08/2009.
- L4: (258331) ČSN EN 60584-1 ed.2: Termoelektrické články – Část 1: Údaje napětí a tolerance. Vyd. 05/2014.
- L5: (258340) ČSN EN 60751: Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové senzory. Vyd. 09/2014.
- L6: (34 5791) ČSN EN 60068-1 ed.2: Zkoušení vlivů prostředí – Část 1: Obecně a návod. Vyd. 08/2014.
- L7: (34 5791) ČSN EN 60068-3-5 ed.2: Zkoušení vlivů prostředí – Část 3-5: Doprovodná dokumentace a návod – Konfirmace výkonnosti teplotních komor. Vyd. 09/2018.
- L8: (34 5791) ČSN EN 60068-3-6 ed.2: Zkoušení vlivů prostředí – Část 3-6: Doprovodná dokumentace a návod – Konfirmace výkonnosti klimatických (teplotně vlhkostních) komor. Vyd. 09/2018.
- L9: (34 5791) ČSN EN 60068-3-7 ed.2: Zkoušení vlivů prostředí – Část 3-7: Doprovodná dokumentace a návod – Měření v teplotních komorách pro zkoušky A (chlad) a B (suché teplo) (se zátěží). Vyd. 03/2021.

- L10: (34 5791) ČSN EN 60068-3-11: Zkoušení vlivů prostředí – Část 3-11: Dopravná dokumentace a návod - Výpočet nejistoty podmínek v klimatických zkušebních komorách. Vyd. 03/2008.
- L11: Environmental Chamber Temperature Calibration: Which Method to Use? *David C. Gibbons, Agilent Technologies, Santa Rosa, California – Journal of the Test, V. 49, No. 2, © 2006.*
- L12: Směrnice DKD-R 5-7 – Kalibrace klimatických komor *Kalibrační postup DKD „Deutscher Kalibrierdienst Braunschweig“, vydání 09/2018.*
- L13: Dokument EURAMET Calibration Guide No. 11; verze 2.0 – Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement. Vyd. 03/2011.
- L14: Dokument EURAMET Calibration Guide No. 20; verze 5.0 – Guidelines on the Calibration of Temperature and / or Humidity Controlled Enclosures. Vyd. 09/2017.
- L15: Dokument EA 4/02: Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Vyd. 2000/03.
- L16: (010115) TNI 01 0115: Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Vyd. 02/2009.
- L17: Mihail Leonard DONA: Methods of Calibration and Characterization of Temperature controlled Enviroments; U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 72, Iss. 2, 2010; str. 197 až 210.
- L18: Dokument ILAC-G8:09/2019: Pokyny pro použití rozhodovacích pravidel a uvádění výroků o shodě. Překlad ČIA 03/2020.

### 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci měřicího řetězce je dána předpisem organizace. Příslušní pracovníci mají být seznámeni a proškoleni s tímto postupem, externí kalibrace měřicího řetězce vyžaduje odpovídající laboratorní praxi. Doporučuje se certifikace odborné způsobilosti těchto pracovníků v oboru teploty (vlhkosti).

### 4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v normách, zejména v [L16] a ve skupině norem [L6 až L10]. Další pojmy, které v uvedené literatuře nejsou uvedeny:

*Měřicí řetězec:* účelové uspořádání měření zpravidla fyzikální veličiny (teplota, tlak, průtok atd.) realizované měřidly, která jsou prostorově rozdělena a vhodným způsobem propojena. Měřicí řetězec se skládá ze snímače fyzikální veličiny, obvodů pro úpravu (zesilovač, převodník) a vyhodnocení signálu resp. jeho indikaci (panelové měřidlo, zapisovač, PC apod.). Součástí obvodu jsou i pomocná zařízení (korekční členy, teplotní kompenzace atd.) a propojení (proudová smyčka, napěťová sběrnice, signálová sběrnice). Inteligentní měřicí systémy jsou připojeny přes rozhraní do sběrníkových sítí. Klimatické i teplotní komory mají možnost přenosu dat na PC příp. USB port pro kopie průběhů zkoušek.

*Chyba měřicího řetězce:* je rozdíl mezi výstupním údajem a pravou hodnotou veličiny, působící na snímač.

*Dovolená chyba měřicího řetězce:* maximální přípustná chyba řetězce určená výpočtem, odhadem nebo technologickou tolerancí zkušebního zařízení pracujícího v konkrétních podmínkách.

*Technologická, zkušební tolerance:* měřicí řetězec je součástí zkušebního zařízení. V metodice prováděné zkoušky (norma, interní předpis) je uveden dílčí požadavek na přesnost měření veličiny tj. požadavek vyplývající z použité technologie, druhu zkoušky apod.

*Kalibrace řetězce vcelku:* řetězec nerozpojujeme, ze zařízení pouze demontujeme snímač fyzikální veličiny, který zatěžujeme externím zařízením (přenosná pícka, generátor vlhkosti) a pravou hodnotu určujeme etalonem s požadovanou nejistotou.

*Kalibrace řetězce při odpojení snímače:* snímač se kalibruje např. v kalibrační laboratoři a zbytek řetězce se kalibruje s použitím vhodného zdroje referenčního signálu (simulace výstupu převodníku tzv. procesním kalibrátorem; procesní kalibrátory často umí provést i kalibraci samotného převodníku s unifikovaným výstupním signálem nebo indikačního přístroje).

## 5 Potřebné prostředky pro kalibraci

### 5.1 Metodika kalibrace

Obecně můžeme říci, že měření komor lze realizovat mnoha způsoby. [L11] podrobně popisuje tzv. kalibrační strategii teplotních (klimatických) komor, která zahrnuje 10 metod, volených podle použití komory (postup pro teplotu je identický s postupem pro vlhkost):

- Metoda 1: Přímá kalibrace regulátoru v jedné teplotě (simulace výstupního signálu snímače teploty v jednom bodě).
- Metoda 2: Přímá kalibrace regulátoru ve více bodech.
- Metoda 3: Kalibrace řetězce snímač + regulátor v jednom bodě, komora bez zátěže (etalonový snímač je umístěn v blízkosti snímače komory a připojen na referenční měřidlo).
- Metoda 4: Kalibrace řetězce snímač + regulátor ve více bodech, komora bez zátěže.
- Metoda 5: Kalibrace řetězce snímač + regulátor v jednom bodě, komora bez zátěže, několik referenčních snímačů (referenční měření teploty v několika zvolených místech ve vztahu k jednomu zvolenému bodu, obvykle k prostorovému středu komory).
- Metoda 6: Kalibrace řetězce snímač + regulátor ve více bodech, komora bez zátěže, několik referenčních snímačů.
- Metoda 7: Kalibrace řetězce snímač + regulátor v jednom bodě, komora se zátěží, kontrolní bod na povrchu nebo uvnitř zátěže (zátěží se rozumí typická nebo modelová náplň komory při používání).
- Metoda 8: Kalibrace řetězce snímač + regulátor ve více bodech, komora se zátěží, kontrolní bod na povrchu nebo uvnitř zátěže.
- Metoda 9: Kalibrace řetězce snímač + regulátor v jednom bodě, komora se zátěží, několik kontrolních bodů na povrchu nebo uvnitř zátěže.

- Metoda 10: Kalibrace řetězce snímač + regulátor ve více bodech, komora se zátěží, několik kontrolních bodů na povrchu nebo uvnitř zátěže.

První čtyři metody lze akceptovat jako klasické kalibrace prováděné metodou přímého porovnání, 5. až 10. metoda jsou spojením kalibrace se zjišťováním stability a homogenity prostoru při daných zkušebních podmínkách a kalibrace měřidla komory je jednou částí celkového měření (viz *charakterizace* komory).

Kalibrace teplotních indikátorů simulací vstupních signálů popisuje [L13] a tento postup bývá zařazován mezi kalibrace přístrojů pro měření elektrických veličin, ačkoliv ho běžně používají i laboratoře ostatních fyzikálních veličin (teplota nejčastěji). Deset popsanych způsobů kalibrace bylo vhodně sloučeno a redukováno na základní způsoby kalibrace, které reprezentuje soubor norem řady [L6 až L10] a současně dokumenty [L12 a L14]. Kalibrace byla redukována především na dvě metody – měření komor bez zátěže a se zátěží s tím, že je preferována charakterizace celé komory.

## 5.2 Etalonová zařízení

Etalony volíme podle použité metodiky kalibrace. Vzhledem k tomu, že velikosti snímačů ovlivňují jejich dobu odezvy, měly by snímače být co nejmenší (ideálně <5 mm). V klidném vzduchu má snímač o průměru 3 mm dobu odezvy (45 až 75) sec. Snímače malých průměrů ale mohou být snadno ovlivněny tepelným zářením stěn komory při teplotách nad 50 °C. Rozdíl mezi teplotou vzduchu, která má být stanovena, a teplotou snímače závisí na emisivitě povrchu snímače, geometrii/rozměrech (dle L12 by měl být minimální průměr 4 mm), umístění snímačů v komoře, rychlosti vzduchu na snímači a rozdílu mezi teplotou vzduchu a stěn komory. Nejčastěji se používají tato zařízení:

- přenosný digitální teploměr s rozlišením 0,1 °C nebo lepším a souprava odporových snímačů teploty (Pt 100, Pt 1000, polovodičové NTC) nebo termoelektrických snímačů vhodného provedení (dostatečná délka a teplotní odolnost kabelu pro umístění v komoře),
- přenosný digitální vlhkoměr s rozlišením 0,1 % RH nebo lepším a jeden nebo několik snímačů vlhkosti (sdružených snímačů teplota + vlhkost),
- procesní kalibrátor – simulátor výstupních signálů teplotních snímačů a proudové smyčky 4 mA až 20 mA.

Digitální teploměry a vlhkoměry se nejčastěji používají jako sdružená měřidla s několika (devíti a více) vstupy, která umožňují záznam měřených hodnot (dataloggery), okamžité zobrazení hodnot a průběhů veličin (pomocí vhodného SW vybavení a přenosného PC) a následné zpracování dat. Nejčastější způsoby měření vlhkosti v komorách:

*Psychrometrická metoda* – dva snímače teploty, jeden měří teplotu vlhké punčošky, ze které se odpařuje voda (mokrý teploměr) a druhý teplotu vzduchu (suchý teploměr). Z rozdílu teplot obou teploměrů je stanovena relativní vlhkost vzduchu.

*Měření rosného bodu zrcátkovou metodou* – povrch zrcátka se ochlazuje, dokud na něm nedojde ke kondenzaci vodní páry. Zjištěná teplota kondenzace je teplotou rosného bodu, při známé teplotě okolí pak lze stanovit relativní vlhkost vzduchu.

*Měření kapacitním snímačem* – vlhkost mění vlastnosti dielektrika měřicího kondenzátoru a tato změna slouží k přímému měření relativní vlhkosti.

### 5.3 Ostatní zařízení

Do pomocných prostředků patří:

- Měřidlo barometrického tlaku (nutné při měření relativní vlhkosti při charakterizaci),
- měřidlo teploty okolí (lze využít referenčních měřidel),
- souprava nářadí,
- ruční multimetr (pomocné měřidlo),
- lupa, posuvné měřítko, metr,
- čisticí prostředky, stojánek nebo jiné prostředky pro uchycení snímačů v komoře.

## 6 Obecné podmínky kalibrace – referenční podmínky

Měřicí řetězce klimatických nebo teplotních skříní (komor) lze kalibrovat podle [L12] za těchto podmínek:

- Součástí komory jsou snímače teploty (vlhkosti) vzduchu s příslušnou zobrazovací jednotkou,
- součástí komory je regulační zařízení pro nastavení kalibrovaných veličin,
- známe technickou specifikaci výrobce,
- známe údaje o druhu snímačů veličin v komoře příp. další údaje (specifikace snímačů, údaje o izolačních vlastnostech, způsob vytápění a zvlhčování komory apod.),
- komora je zatížena pouze barometrickým tlakem,
- kalibrace teplotního (vlhkostního) rozsahu by měla být provedena minimálně ve třech hodnotách teploty (vlhkosti); na žádost uživatele lze provést kalibraci v jediném bodě, ale výsledek je omezen pouze na tento měřený bod,
- jestliže provádíme kalibraci se zátěží, která produkuje ztrátový výkon (produkce tepla v prostoru komory), musí být tento vliv určen v rámci příspěvků nejistoty měření od vlivu zařízení (max. ztrátový výkon definuje obvykle výrobce).

Pracovní podmínky komor vyplývají ze specifikací výrobců, obecně lze za referenční považovat teplotu okolí ( $23 \pm 5$ ) °C a vlhkost ( $50 \pm 30$ ) % RH, pokud není výrobcem stanoveno jinak. Komory mohou mít nucené nebo přirozené proudění vzduchu. Komory s nuceným oběhem vzduchu (ventilátor ve stěně) pracují obvykle s rozsahem teploty – 90 °C až 500 °C, komory s přirozenou konvekcí s rozsahem – 90 °C až 350 °C. Měření vlhkosti je možné pouze v odpovídajícím rozsahu teplot (viz pracovní grafy komor ve specifikaci výrobců) a obvyklý rozsah komor je 10 % RH až 95 % RH. Při překročení rozmezí referenčních teplot musí být zahrnut do nejistoty měření také teplotní vliv na použitá měřidla, který vyplývá z jejich teplotních závislostí. Kalibrační zařízení včetně etalonů musí být před měřením umístěno v daném prostředí po dobu nezbytnou k jeho teperaturaci a musí být platně navázáno.

### 6.1 Obecné požadavky

1. Etalonové odporové snímače teploty musí vyhovovat nejméně třídě A podle [L5]. Vhodné jsou platinové odporové snímače teploty s přesností 1/3 DIN, 1/5 DIN nebo 1/10 DIN nebo v tolerančních třídách AA nebo A dle [L5]. Obdobně je možné použít termoelektrické snímače třídy 1 dle [L4] (vhodně snímače typu T, K, J a N), pro menší rozsahy polovodičové odporové teploměry typu NTC.
2. Rozlišení etalonových měřidel by mělo být nejméně 0,1 °C (0,1 % RH) a při měření teploty by mělo být o řád lepší, než rozlišení indikátoru komory (např. komora 0,1 °C

- a etalon 0,01 °C). Nejistota měření na výstupu etalonového měřicího systému musí být stanovena kalibrací a její hodnota by měla být nejvýše 1/3 max. dovolené chyby řetězce (při měření vlhkosti je uvedený poměr alespoň 1/2).
3. Doba 50 % odezvy snímače ve vzduchu musí být mezi 10 s až 40 s, doba odezvy celého systému má být menší než 40 s.
  4. Během zkoušky je třeba vyloučit vliv vibrací a rázů, elektrických i magnetických polí.
  5. Komora nesmí být vystavena přímému slunečnímu záření.
  6. Zkušební podmínky jsou definovány v [L6].

## 7 Rozsah kalibrace – přehled zkoušených parametrů

Základním cílem kalibrace je zjištění odchylek mezi hodnotou ukazatele teploty (vlhkosti) komory a etalonem, umístěným na referenčním místě (místech) prostoru komory. Jestliže hovoříme o kalibraci, je nejlepším referenčním místem bezprostřední okolí snímače teploty (vlhkosti) zabudovaného v komoře. Velmi často je ale specifikace vztažena na prostorový střed komory (údaj výrobce) nebo jde o maximální odchylku, zjištěnou v několika místech prostoru.

Měření v jednom nebo několika místech prostoru neříká nic o rozložení teploty (vlhkosti) v užitném prostoru komory. Pro posouzení celého užitného prostoru (nebo jeho části) je nutné zjištění homogenity a stability obou veličin. Tato měření mohou být přímou součástí kalibračního listu nebo jeho přílohou. Proměření vlastností komory mohou provádět jak kalibrační, tak zkušební laboratoře, pokud mají odpovídající vybavení, proškolený personál a platné postupy vycházející z dokumentace v kap. 2. Zjištění prostorové homogenity a stability je nezbytné pro stanovení užitných vlastností komory, ale také pro určení nejistoty měření. Protože nejistota měření je nedílnou součástí kalibračního listu, musíme přispěvkem vlivu komory stanovit i při vlastní kalibraci. Proto je i v tomto případě vhodné měření parametrů na několika místech komory.

Rozsah měření stanovíme vždy po dohodě se zákazníkem podle způsobu užívání komory. Všeobecný postup při kalibraci – předběžná kontrola všech členů řetězce a stavu komory; kontrola shody realizace řetězce s projektem (při kalibraci zařízení nových nebo po opravě); funkční kontrola; měření metrologických parametrů; vyhodnocení měřených dat a vypracování kalibračního listu.

## 8 Kontrola řetězce

Během kalibrace (charakterizace) se kontrolují následující požadavky (pokud některý z nich měřidlo nesplňuje, uvede se tato skutečnost do kalibračního listu):

*Dosažená teplota (vlhkost)* – kontroluje se shoda s nastavenou hodnotou, odchylka nesmí překročit definovanou toleranci. Při stanovení shody se specifikací musíme respektovat rozhodovací pravidla dle [L18].

*Stabilizace teploty (vlhkosti)* – celý prostor je vytemperován a hodnota veličiny je udržována v dané toleranci.

*Kolísání teploty (vlhkosti)* – rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou veličiny v jakémkoliv bodě prostoru během specifikované doby po stabilizaci.

Soubor norem [L6 až L10] definuje rozdíl mezi gradientem a odchylkou veličiny v prostoru. GRADIENT veličiny je max. rozdíl střední hodnoty mezi dvěma body v pracovním prostoru v jakémkoliv časovém okamžiku po stabilizaci. ODCHYLKA veličiny je rozdíl střední hodnoty ve středu pracovního prostoru a v jakémkoliv jiném bodě pracovního prostoru v libovolném časovém okamžiku po stabilizaci.

Na jednotlivých částech měřicího řetězce a/nebo na samotné komoře a/nebo v technické specifikaci musí být uvedeno (technická dokumentace by měla být při měření dostupná):

- název nebo označení výrobce,
- typ komory,
- měřicí rozsah.

Jako identifikační znak slouží výrobní číslo komory, v.č. nebo označení panelového měřidla, metrologické nebo evidenční číslo měřicího řetězce apod.

### 8.1 Předběžná kontrola

Při vnější prohlídce se zjišťuje:

- mechanický stav měřidel komory,
- mechanický stav vlastní komory (čistota, koroze, chod ventilátoru, těsnost dveří, stav směrových lišt vzduchu apod.),
- stav elektrického připojení především u měřidel komory (je-li připojení dostupné),
- zda označení a nápisy odpovídají požadavkům; kontroluje se označení vodičů a svorek kabelů, zapojení stínění a neporušenost dalších členů řetězce (převodníků, vazebních členů, korekčních členů apod.) U výstupního zařízení se kontroluje, zda jsou v pořádku nápisy, stav ukazatele, stupnice, displej atd.

- 

Pokud zjištěná závada znemožní další zkoušky, dále se nepokračuje.

## 9 Vlastní měření řetězce

Metoda zjištění základní chyby měřicího řetězce teploty (vlhkosti) spočívá v přímém porovnání hodnoty veličiny indikované řetězcem s její konvenčně pravou hodnotou, realizovanou v prostředí komory a měřenou etalonovým měřicím zařízením. Měření probíhá v okamžiku, kdy je teplota (vlhkost) dostatečně ustálená a homogenní.

### 9.1 Kalibrace řetězce

Etalonový snímač teploty (vlhkosti) umístíme do bezprostřední blízkosti kalibrovaného snímače, který bývá nejčastěji uchycen v držáku na zadní stěně nebo u stropu komory (možné je např. svázání činných částí obou snímačů nebo použití držáků umístěných na vkladacích rostech komory). Pripěvňovací prvky musí být odolné vůči podmínkám v komoře při kalibraci (především teplotní odolnost). Pokud komora nemá vyjádřený snímač teploty nebo vlhkosti, umístíme etalon do jejího prostorového středu nebo k výdechu ventilátoru, kde bývá umístěn interní snímač teploty. Kolísání hodnoty (stabilitu) odečítáme na kalibrovaném měřidle i na etalonu. U kvalitních a dobře nastavených PID regulátorů je kolísání malé (max. několik desetin °C), u proporcionálních dvoustavových regulací nebo u komor bez ventilátoru může být naopak až několik °C. Rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou veličiny charakterizuje stabilitu v daném bodě. Abychom mohli stanovit odhad vlivu prostředí komory



na výsledek měření (homogenita), vložíme do komory alespoň jeden (přednostně více) dalších snímačů teploty. Podle [L12] se při bodovém měření umísťuje do vzdálenosti 2 cm až 5 cm od referenčního snímače a zjištěný rozdíl představuje místní homogenitu měřeného bodu. Při tomto způsobu měření může ale být nejistota etalonu stejná nebo větší než naměřený rozdíl. Jestliže se emisivita obou snímačů výrazně liší, zahrnuje naměřený rozdíl hodnot současně vliv záření stěn.

Jestliže chceme lépe poznat rozložení teploty v prostoru, lze použít umístění dalšího snímače ve středu komory (pokud není střed referenčním místem) nebo ve středu vkladacích roštů při typickém osazení roštů nebo v největší vzdálenosti od referenčního místa. Max. rozdíl mezi jednotlivými snímači umístěnými v komoře charakterizuje homogenitu prostoru (*nejde ale o zjišťování homogenity celého pracovního prostoru*). Jestliže při kalibraci máme etalon i kalibrované měřidlo bezprostředně u sebe, uvažujeme do nejistoty měření celý zjištěný rozdíl obou snímačů. Jestliže je referenčním místem střed komory (snímač komory je např. skrytý v plášti nebo přívodu vzduchu) a vzdálenost mezi snímači je výrazně větší než 5 cm, můžeme při kalibraci použít pro homogenitu poměrnou část max. rozdílu mezi údaji jednotlivých snímačů a snímačem ve středu komory (závisí na chování komory).

Absolutní vlhkost lze považovat v celém prostoru komory za stejnou (viz L8), postačí tedy jediný snímač relativní vlhkosti v referenčním místě. Jestliže v tomtéž místě měříme i teplotu, lze zjištěnou hodnotu relativní vlhkosti přepočítat na jednotlivá umístění ostatních teplotních snímačů podle jimi změřených teplot.

Kalibrace se provádí v komoře bez zátěže tj. prázdné. Na kalibračním listu musí být popsáno umístění etalonů v komoře. Počet bodů se volí podle požadavků zákazníka – standardně bývají 3 teplotní body a 2 až 3 hodnoty vlhkosti. Možná je ale i jednobodová kalibrace (existují teplotní komory používané na jedinou teplotu např. biologické termostaty na 37 °C nebo sterilizátory při 121 °C). V tomto případě musí být tato skutečnost zvýrazněna v kalibračním listu, vhodná je i informace přímo na zařízení (např. štítek s označením „Jednobodová kalibrace při teplotě 37 °C“).

## 9.2 Charakterizace komory

Charakterizací komory se rozumí stanovení všech základních vlastností prostoru ve vztahu ke generovaným veličinám. [L12] rozděluje komory podle velikosti užitého objemu na komory do 2000 dm<sup>3</sup> a komory s objemem  $\geq 2000$  dm<sup>3</sup>. U komor do 2000 dm<sup>3</sup> se používá k měření nejméně 9 ks snímačů teploty, rozmístěných podle obr. 3 v [L7] (8 rohů prostoru a střed komory). U teplotních komor nad 2000 dm<sup>3</sup> se umísťují další snímače teploty proti středu každé stěny (obr. 4 v L7), celkem tedy nejméně 15 snímačů teploty. Podle [L17] lze použít 15 snímačů dle uvedeného do objemu komory max. 20 m<sup>3</sup>. Pro pracovní prostory větší než 20 m<sup>3</sup> by měly měřicí body respektovat kubickou síť s konstantní hodnotou délky strany krychle pro každý snímač max. 1 m. Podle [L12] by mělo být toto pravidlo dodrženo i pro komory s objemem nad 2 m<sup>3</sup>. Měření vlhkosti se provádí vždy v jediném bodě – ve středu pracovního prostoru – a relativní vlhkost se dále počítá v každém bodu pracovního prostoru, kde je umístěn teplotní snímač. Nejistota referenčního měřidla vlhkosti nemá přesáhnout  $\pm 3$  % RH (podrobně viz L8). Teplota i vlhkost jsou měřeny vždy v dokonale ustáleném stavu. Dosažení tohoto ustálení je podstatně horší u komor s přirozenou konvekcí, kde se začíná měřit až v okamžiku, kdy se měřené parametry na všech měřených místech systematicky nemění po dobu alespoň 30 minut. Toto pravidlo platí obecně pro ustálený stav. [L12] dále rozlišuje tři metody měření (jsou zde nazývány jako tři metody kalibrace ukazatelů komor):

**Metoda A:** Měření prázdné komory (bez zátěže) – kromě určení odchylky ukazatele se určuje prostorová homogenita a časová stabilita prázdné komory, vliv záření stěn při měření teploty vzduchu a je možné určit rozdíl chování mezi prázdnou a zatíženou komorou.

**Metoda B:** Měření zatížené komory – jde o identické měření, ale komora je naplněna buď typickou zátěží (bez uvolňování tepla nebo např. v případě zkoušek elektronických zařízení zátěží s uvolňováním tepla) nebo simulovanou zátěží, která vyplňuje alespoň 40 % pracovního objemu komory.

Metody A a B jsou obdobně popsány v [L7 až L9].

**Metoda C:** Měření v jednotlivých definovaných bodech pracovního prostoru – naměřené hodnoty nelze zobecnit na celý objem komory. Tato metoda odpovídá kalibraci popsané v kapitole 9.1. Protože naměřené údaje platí v okruhu 2 cm až 5 cm kolem středu měřeného bodu, není tato metoda vhodná pro charakterizaci celého užitého prostoru, ale pouze vybraných bodů.

Při všech způsobech měření musí kalibrační list obsahovat údaje o celkovém objemu komory (např. délky jednotlivých stran nebo průměr a délku komory) a údaje o umístění měřicích bodů (náčrt nebo rozměrový popis).

### 9.3 Kalibrace řetězce bez snímače

Kapitola 5.1. uvádí i metody kalibrace ukazatele bez snímače (metoda 1 a 2). Tato metoda nepatří mezi standardní, ale lze ji použít např. při výměně měřidla nebo při opravách. Procesní kalibrátor – simulátor signálu slouží jako zdroj výstupního signálu snímače teploty nebo vlhkosti (proudová smyčka 4 mA – 20 mA, odporový výstup, napěťový výstup atd.). Výstupní svorky simulátoru jsou propojeny s přípojovacími svorkami kabelu snímače. Při nastavení hodnoty výstupního proudu (odporu, napětí), která odpovídá určité velikosti teploty nebo vlhkosti (např. 20 % rozpětí), se tato hodnota zobrazí na konci měřicího řetězce s chybou, která odpovídá nejistotě simulátoru a celkové chybě měřicího řetězce. Simulaci výstupního signálu provádíme obvykle po 25 % rozpětí (5 kalibračních bodů) vzestupně (kontrolně i sestupně). Postup při kalibraci řetězce:

- Místo snímače se připojí kalibrátor, simulující výstupní signál snímače,
- na kalibrátoru se postupně nastaví pět hodnot v měřicím rozsahu 0, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %,
- na výstupním zařízení se kontroluje, zda údaje odpovídají hodnotám simulovaným kalibrátorem s dovolenou chybou,
- přesáhne-li některý údaj včetně nejistoty měření dovolenou chybu měřicího řetězce, pak řetězec nevyhovuje: je nutné seřadit všechny členy řetězce při stálém signálu kalibrátoru a potom se zkouška opakuje.

### 9.4 Určování zdrojů nejistot

**HOMOGENITA** – při kalibraci podle kap. 9.1. (metoda C dle 9.2) jsme uvedli, že ji lze určit buď lokálně z rozdílu dvou snímačů nebo jako poměrnou část největšího rozdílu měřených teplot (vlhkostí). Při charakterizaci komory je určena největší odchylkou teploty (vlhkosti) mezi jednotlivými měřicími místy a referenčním místem (obvykle střed komory). Pro charakterizaci se určuje pouze u metody A a B.

**STABILITA** – v ustáleném stavu je provedeno měření po dobu min. 30 minut (nejméně 30 odečtů) a z časového průběhu veličiny v každém bodě je určen max. rozdíl mezi střední hodnotou a jednotlivými odečty každého snímače. Určuje se při metodě A, B i C. Při kalibraci je možná i kratší doba měření příp. doba určená požadavkem zákazníka.

VLIV ZÁŘENÍ – teploty stěn komory a vzduchu v komoře jsou principiálně rozdílné a vliv záření se projevuje jak na zátěži komory, tak na měřicích snímačích. Jeho velikost závisí na velikosti teploty, emisivitě povrchu snímače, geometrii snímače (doporučen nejmenší průměr 4 mm), uspořádání snímačů v prostoru, rychlosti proudícího vzduchu, rozdílu mezi teplotou stěny a vzduchu apod. Vliv záření určujeme dle [L12] těmito způsoby:

- Měřením ve středu komory pomocí dvou teploměrů s rozdílnou emisivitou povrchu ( $\varepsilon > 0,6$  a  $\varepsilon < 0,15$ ) ... teploměr s nízkou emisivitou přibližně ukazuje teplotu vzduchu, kterou hledáme. Teplota vzduchu vyplývá z extrapolace na emisivitu  $\varepsilon = 0$ . Zjištěný rozdíl mezi oběma teploměry je mírou max. vlivu záření při odchylce teploty stěny od teploty vzduchu. Do složek nejistoty uvažujeme 20 % měřeného rozdílu jako polovinu šířky rovnoměrného rozdělení.
- Měřením teploty se stíněným snímačem a následně s odstraněným stíněním; radiační štít musí zaručit dostatečnou cirkulaci vzduchu kolem snímače. Do složek nejistoty uvažujeme 100 % měřeného rozdílu jako polovinu šířky rovnoměrného rozdělení.
- Měření teploty vzduchu teploměrem s nízkou emisivitou nebo stíněním a současné měření teploty stěny umožňuje také odhad maximálního vlivu záření. Do složek nejistoty uvažujeme 10 % měřeného rozdílu jako polovinu šířky rovnoměrného rozdělení.

V rozsahu teplot 0 °C až 50 °C pokládáme vliv záření za konstantní, neměříme ho a do složek nejistoty uvažujeme hodnotu 0,3 °C jako polovinu šířky rovnoměrného rozdělení. Vliv záření se určuje při metodě A, B i C.

VLIV ZÁTĚŽE – měření vlivu zátěže se provádí na základě požadavku zákazníka. Měření je vhodné v případě, že komora je provozována vždy s podobnou zátěží a toto uspořádání je významně odlišné od prázdné komory (předpokládaná zátěž by měla zaujímat alespoň 40 % objemu komory). U komor s proměnnou zátěží nemá toto měření velký význam. V referenčním místě komory se provedou měření bez a se zátěží, rozdíl údajů je zahrnut do nejistoty měření.

MĚŘENÍ VLHKOSTI – způsoby měření jsou popsány v kapitole 5.2. Protože se předpokládá stálá absolutní vlhkost komory, lze ji určit v referenčním místě výpočtem ze změřené teploty a relativní vlhkosti, přímým změřením nebo změřením rosného bodu. Relativní vlhkost je následně vypočtena ve všech měřených bodech komory s použitím měřených teplot těchto bodů.

## 10 Vyhodnocení zkoušek

Vyhodnocení spočívá v porovnání zjištěných a dovolených chyb, stanovení rozšířené nejistoty měření a posouzení shody s metrologickou specifikací, pokud je požadováno. Na základě měření jednotlivých veličin je provedeno celkové vyhodnocení kalibrovaného řetězce a je uvedeno do kalibračního listu. Základem je stanovení odchylek ukazatele komory od referenční hodnoty (teplota, vlhkost). Při kalibraci nebo použití metody C musí být uvedeno umístění etalonů v komoře (popis umístění nebo obrázek). Samozřejmostí je nejistota měření teploty nebo vlhkosti, u metody A nebo B se dále uvádějí výsledky charakterizace (homogenita, stabilita, vliv záření, teplota stěn atd.), které platí pro celý užitný prostor komory. Umístění snímačů bývá zobrazeno graficky na profilu komory spolu s rozměry komory.

## 11 Kalibrační list, označení měřidla

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo měřicího řetězce,
- e) datum přijetí měřicího řetězce ke kalibraci, datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 2.5.2/01/23),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použita při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření, nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který měřicí řetězec kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného měřicího řetězce a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře reprodukován jinak než celý.

Pokud laboratoř kalibruje pro vlastní organizaci, může kalibrační list zjednodušit, popř. jej nemusí vystavit a výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v metrologické kartě zařízení nebo na vhodném nosiči, např. v elektronické paměti. I v tomto případě kalibrační laboratoř musí archivovat záznam o měření s uvedenými měřenými hodnotami. Akreditované kalibrační laboratoře se řídí platnou normou ČSN EN ISO/IEC 17025.

## 12 Převzetí řetězce ke kalibraci a předání po kalibraci

Převzetí a předávání řetězce jsou řešeny v pracovním postupu nebo v příručce kvality. Předávací protokoly se obvykle vyplňují na místě kalibrace, aby byly popsány aktuální a reálné podmínky (počet měření, identifikace zákazníka, kontaktní osoba, zapůjčení podkladů atd.).

### 12.1. Reklamacce

V případě, že objednatel kalibrace podá stížnost na provedenou kalibraci, přebírá ji vedoucí kalibrační laboratoře, v době nepřítomnosti jeho zástupce. Stížnost se může týkat rozsahu nebo správnosti kalibrace, úplnosti nebo správnosti kalibračního listu, popřípadě fakturace za provedenou kalibraci nebo přístupu pracovníků. Povinností vedoucího kalibrační laboratoře je analyzovat stížnost, na jejím základě učinit příslušná opatření a seznámit s nimi objednatele kalibrace.

Když se při analýze nenajdou závady, bude o tom objednatel kalibrace informován. Pokud je stížnost oprávněná a jedná se o rozsah nebo správnost kalibrace, provede laboratoř novou, bezplatnou kalibraci a vystaví nový kalibrační list. V ostatních případech oprávněné stížnosti se provedou příslušná opatření podle příručky kvality.

### 13 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku. Kalibrační postup podléhá řízení podle normy ČSN EN ISO řady 9000 (ČSN EN ISO/IEC 17025).

Změny, popřípadě revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Schvaluje je vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

### 14. Rozdělovník, úprava a schválení, revize

#### 14.1 Rozdělovník

Výtisk číslo	Obdrží útvar	převzal		
		jméno	podpis	datum

#### 14.2 Úprava a schválení

	jméno	podpis	datum
<i>Upravil</i>			
Schválil			

#### 14.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

### 15 Rozbor nejistoty kalibrace ukazatele teploty a vlhkosti klimatické komory

**Příklad 1:** Určíme nejistotu měření při kalibraci měřicího řetězce teploty a vlhkosti klimatické komory při nastavených parametrech: teplota ... 23 °C, vlhkost ... 45 % RH. Pro měření byl použit digitální datalogger se dvěma snímači teploty Pt 100 (rozlišení 0,01 °C) a kapacitním snímačem relativní vlhkosti (rozlišení 0,1 % RH). Snímače teploty byly umístě-

ny: č.1 u snímače komory (u dna komory v pravém dolním rohu, kde je umístěn sdružený snímač komory pro teplotu i vlhkost), č.2 v prostorovém středu komory. Snímač vlhkosti byl umístěn spolu se snímačem teploty č.2 ve středu komory (byla současně provedena charakterizace komory, která není předmětem vyhodnocení). Teplota naměřená snímačem č.1 ... 23,28 °C, teplota (vlhkost) měřená snímačem č.2 ... 22,88 °C (47,97 % RH). Hodnoty byly určeny jako průměr z 10 odečtů prováděných v intervalu 1 minuty. Údaje měřidla komory ... 23,1 °C; 45,5 % RH (rozlišení měřidla komory obou veličin je 0,1 dig.). U snímače č.1 byl umístěn ve vzdálenosti 50 mm třetí kontrolní snímač. Rozdíl mezi údaji těchto snímačů charakterizuje místní homogenitu prostoru při kalibraci. Průměrná hodnota teploty kontrolního snímače byla 23,08 °C, absolutní odchylka od snímače č. 1 je tedy 0,2 °C.

Chyba údaje teploty kalibrovaného snímače komory  $E_X$  je definována:

$$E_X = T_M - T_E - \delta T_K - \delta T_D - \delta T_{RE} - \delta T_O + \delta T_H + \delta T_S + \delta T_{RM} + \delta T_Z$$

$T_M$ ...	údaj měřidla komory
$T_E$ ...	údaj etalonu
$\delta T_K$ ...	korekce na nejistotu kalibrace etalonu
$\delta T_D$ ...	korekce na drift etalonu
$\delta T_{RE}$ ...	korekce na rozlišitelnost odečtu etalonu
$\delta T_O$ ...	korekce na samoohřev etalonu
$\delta T_H$ ...	korekce na homogenitu teploty
$\delta T_S$ ...	korekce na stabilitu teploty
$\delta T_{RM}$ ...	korekce na rozlišitelnost měřidla komory
$\delta T_Z$ ...	korekce na vliv záření stěn komory

Určení vlivu zátěže nebylo požadováno, podmínky okolí byly v pásmu referenčních hodnot, takže teplotní závislost etalonového měřidla není nutné uvažovat.

### 15.1 Měřené hodnoty

Hodnota etalonu byla odečtena 10x, směrodatná odchylka (nejistota typu A) průměrné teploty snímače č.1 byla určena  $u_{AE} = 0,12$  °C, Stejným způsobem byla určena z 10 odečtů i směrodatná odchylka průměrné teploty na ukazateli jako  $u_{AM} = 0,08$  °C. Směrodatná odchylka je stanovena podle vzorce ( $T_p$  ... průměrná teplota,  $T_i$  ... jednotlivé odečty):

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{10} (T_i - T_p)^2}$$

### 15.2 Zdroje nejistot typu B

#### 15.2.1 Nejistota kalibrace etalonu ( $u_K$ )

Digitální datalogger byl kalibrován spolu se snímačem jako měřicí řetězec s rozšířenou nejistotou  $U_K = 0,07$  °C, rozdělení normální, koeficient rozšíření  $k = 2$ , standardní nejistota je tedy  $u_K = 0,035$  °C.

#### 15.2.2 Drift etalonu ( $u_D$ )

Z historie etalonu lze určit, že maximální hodnota driftu během kalibračního intervalu je  $\delta_D = 0,1$  °C, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_D = \frac{\delta_D}{\sqrt{3}} = 0,06 \text{ °C}$$

15.2.3 Rozlišení etalonu ( $u_{RE}$ )

Rozlišení je 0,01 °C, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_{RE} = \frac{0,01}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,003 \text{ °C}$$

... tento příspěvek neovlivní výslednou nejistotu, lze zanedbat

15.2.4 Vliv měřicího proudu ( $u_O$ )

Snímač teploty byl kalibrován v kapalně lázni, ale měření probíhá ve vzduchu. Měřením při proměnném napájecím proudu bylo zjištěno, že rozdíl zatěžovací konstanty v kapalném a plynném médiu může způsobit max. odchylku  $\delta_O = 0,05 \text{ °C}$ , rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_O = \frac{\delta_O}{\sqrt{3}} = 0,03 \text{ °C}$$

15.2.5 Vliv homogenity prostředí ( $u_H$ )

Jak je uvedeno v popisu příkladu, je rozdíl údajů mezi kontrolním snímačem a snímačem č. 1 v bezprostředním okolí etalonového snímače č.1  $\delta_H = 0,2 \text{ °C}$ , rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_H = \frac{\delta_H}{\sqrt{3}} = 0,12 \text{ °C}$$

15.2.6 Vliv stability údaje ( $u_S$ )

Největší rozdíl jednotlivých odečtů od průměrné hodnoty etalonového snímače č.1 činil 0,12 °C, snímač komory je většího průměru s menší citlivostí a hodnota ukazatele komory po celou dobu měření kolísala s max. rozdílem 0,1 °C od střední hodnoty. Stabilitu uvažujeme  $\delta_S = 0,12 \text{ °C}$ , rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_S = \frac{\delta_S}{\sqrt{3}} = 0,07 \text{ °C}$$

15.2.7 Rozlišení měřidla komory ( $u_{RM}$ )

Rozlišení je 0,1 °C, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_{RE} = \frac{0,1}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,03 \text{ °C}$$

15.2.8 Vliv záření stěn ( $u_Z$ )

Jak je uvedeno v kap. 9.4 postupu, uvažujeme do 50 °C hodnotu  $\delta_Z = 0,3 \text{ °C}$ , rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_Z = \frac{\delta_Z}{\sqrt{3}} = 0,17 \text{ °C}$$

15.3 Určení rozšířené nejistoty

Celková standardní kombinovaná nejistota činí:

$$u = \sqrt{u_{AE}^2 + u_{AM}^2 + u_K^2 + u_D^2 + u_{RE}^2 + u_O^2 + u_H^2 + u_S^2 + u_{RM}^2 + u_Z^2} = 0,275 \text{ °C}$$

Rozšířená kombinovaná nejistota ( $k = 2$ ) je tedy

$$U = k \cdot u = 2 \cdot 0,275 = 0,55 \text{ °C}$$

Odchylka měřidla teploty na klimatické komoře je tedy ...  $(-0,18 \pm 0,55) \text{ °C}$

Vzhledem k rozlišení komory se uvede na kalibrační list údaj ve tvaru ...  $(-0,2 \pm 0,6) \text{ °C}$

**PŘEHLED NEJISTOT:**

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodob- nostní rozdě- lení	Citlivostní koeficient $c_i$	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$T_M$	23,10 °C	0,08 °C	Normální	1	0,08 °C
$T_E$	23,28 °C	0,12 °C	Normální	-1	- 0,12 °C
$\delta T_K$	0,00 °C	0,035 °C	Normální	-1	- 0,035 °C
$\delta T_D$	0,00 °C	0,06 °C	Rovnoměrné	-1	- 0,06 °C
$\delta T_{RE}$	0,00 °C	0,003 °C	Rovnoměrné	-1	- 0,003 °C
$\delta T_O$	0,00 °C	0,03 °C	Rovnoměrné	-1	- 0,03 °C
$\delta T_H$	0,00 °C	0,12 °C	Rovnoměrné	1	0,12 °C
$\delta T_S$	0,00 °C	0,07 °C	Rovnoměrné	1	0,07 °C
$\delta T_{RM}$	0,00 °C	0,03 °C	Rovnoměrné	1	0,03 °C
$\delta T_Z$	0,00 °C	0,17 °C	Rovnoměrné	1	0,17 °C
$\delta_m$	- 0,18 °C				0,275 °C

Obdobným způsobem budeme postupovat v pokračování příkladu při určení nejistoty měření vlhkosti. Chyba údaje kalibrovaného snímače vlhkosti  $E_X$  je definována:

$$E_X = H_M - H_E - \delta H_K - \delta H_D - \delta H_{RE} + \delta H_H + \delta H_S + \delta H_{RM}$$

- $H_M$  ... údaj měřidla komory
- $H_E$  ... údaj etalonu
- $\delta H_K$  ... korekce na nejistotu kalibrace etalonu
- $\delta H_D$  ... korekce na drift etalonu
- $\delta H_{RE}$  ... korekce na rozlišitelnost odečtu etalonu
- $\delta H_H$  ... korekce na homogenitu vlhkosti
- $\delta H_S$  ... korekce na stabilitu vlhkosti
- $\delta H_{RM}$  ... korekce na rozlišitelnost měřidla komory

15.4 Měřené hodnoty

Hodnota etalonu byla odečtena 10x, směrodatná odchylka (nejistota typu A) průměrné vlhkosti etalonového snímače byla určena  $u_{AE} = 0,45$  % RH, Stejným způsobem byla určena z 10 odečtů i směrodatná odchylka průměrné vlhkosti na ukazateli jako  $u_{AM} = 0,30$  % RH. Směrodatná odchylka je stanovena podle vzorce ( $H_p$  ... průměrná vlhkost,  $H_i$  ... jednotlivé odečty):

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{10} (H_i - H_p)^2}$$



## 15.5 Zdroje nejistoty typu B

### 5.5.1 Nejistota kalibrace etalonu ( $u_K$ )

Digitální datalogger byl kalibrován spolu se snímačem jako měřicí řetězec s rozšířenou nejistotou  $U_K = 0,7 \%$  RH, rozdělení normální, koeficient rozšíření  $k = 2$ , standardní nejistota je tedy  $u_K = 0,35 \%$  RH.

### 15.5.2 Drift etalonu ( $u_D$ )

Z historie etalonu lze určit, že maximální hodnota driftu během kalibračního intervalu je  $\delta_D = 0,6 \%$  RH, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_D = \frac{\delta_D}{\sqrt{3}} = 0,35 \%$$
 RH

### 15.5.3 Rozlišení etalonu ( $u_{RE}$ )

Rozlišení je  $0,1 \%$  rH, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_{RE} = \frac{0,1}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,03 \%$$
 RH

### 15.5.4 Vliv homogenity prostředí ( $u_H$ )

Vlhkost byla měřena ve středu komory jediným snímačem (47,97 % RH průměr z 10 odečtů). Homogenita prostředí byla měřena snímači teploty (viz předchozí výpočet, hodnota 0,2 °C). Tuto hodnotu lze přepočítat na relativní vlhkost za předpokladu konstantní absolutní vlhkosti v uzavřeném prostoru komory. *KALKULÁTOREM VLHKOSTI* (viz další text) určíme nejprve absolutní vlhkost pro parametry 23 °C a 45 % RH (tj. 9,255 g/m<sup>3</sup>). Změna teploty o 0,2 °C generuje pro stejnou absolutní vlhkost změnu relativní vlhkosti o cca 0,5 % RH (spočteno opět pomocí kalkulátoru vlhkosti). Vliv homogenity je tedy  $\delta_H = 0,5 \%$  RH, rozdělení rovnoměrné. Etalonový snímač vlhkosti lze pro kalibraci umístit ke snímači komory, referenčním místem je ale obvykle střed komory. Složka nejistoty je tedy:

$$u_H = \frac{\delta_H}{\sqrt{3}} = 0,29 \%$$
 RH

### 15.5.5 Vliv stability údaje ( $u_S$ )

Největší rozdíl deseti odečtů etalonového snímače od střední hodnoty činil 0,5 % RH, snímač komory vykazoval menší citlivost a hodnota ukazatele komory byla měřena s max. rozdílem 0,3 % RH. Stabilitu uvažujeme  $\delta_S = 0,5 \%$  RH, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_S = \frac{\delta_S}{\sqrt{3}} = 0,29 \%$$
 RH

### 15.5.6 Rozlišení měřidla komory ( $u_{RM}$ )

Rozlišení je 0,1 % RH, rozdělení rovnoměrné. Složka nejistoty je tedy:

$$u_{RE} = \frac{0,1}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0,03 \%$$
 RH

## 15.4 Určení rozšířené nejistoty

Celková standardní kombinovaná nejistota činí:

$$u = \sqrt{u_{AE}^2 + u_{AM}^2 + u_K^2 + u_D^2 + u_{RE}^2 + u_H^2 + u_S^2 + u_{RM}^2} = 0,84 \%$$
 RH

Rozšířená kombinovaná nejistota ( $k = 2$ ) je tedy

$$U = k \cdot u = 2 \cdot 0,84 = 1,68 \%$$
 RH

Odchylka měřidla vlhkosti na klimatické komoře je tedy ... **(- 2,5 ± 1,9) % RH**

**PŘEHLED NEJISTOT:**

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Pravděpodob- nostní rozdě- lení	Citlivostní koeficient $c_i$	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$H_M$	45,50 % RH	0,30 % RH	Normální	1	0,30 % RH
$H_E$	47,97 % RH	0,45 % RH	Normální	- 1	0,45 % RH
$\delta H_K$	0,00 % RH	0,35 % RH	Normální	- 1	0,35 % RH
$\delta H_D$	0,00 % RH	0,35 % RH	Rovnoměrné	- 1	0,35 % RH
$\delta H_{RE}$	0,00 % RH	0,03 % RH	Rovnoměrné	- 1	0,03 % RH
$\delta H_H$	0,00 % RH	0,29 % RH	Rovnoměrné	1	0,29 % RH
$\delta H_S$	0,00 % RH	0,29 % RH	Rovnoměrné	1	0,29 % RH
$\delta H_{RM}$	0,00 % RH	0,03 % RH	Rovnoměrné	1	0,03 % RH
$\delta_m$	- 2,47 % RH				0,84 % RH

Při charakterizaci komory postupujeme obdobným způsobem, stabilita a homogenita jsou určovány pro celý prostor komory z devíti měřených míst (teplota měřena, vlhkost rozpočtena).

*KALKULÁTORY VLHKOSTI*, které jsou citovány v předchozím textu, mají na svém webu všichni renomovaní výrobci snímačů vlhkosti i jiné společnosti. Lze je vyhledat na webových stránkách pomocí hesla *humidity calculator*. Kompletní postup pro stanovení charakterizace klimatických komor, určení homogenity a stability celého prostoru a návod pro určení nejistoty podmínek klimatických komor poskytuje [L10], která detailně popisuje způsoby stanovení jednotlivých složek nejistoty měření teploty i vlhkosti při charakterizaci komory.

**16 Validace**

Metody použité v tomto kalibračním postupu byly validovány. Doklad o validaci je uložen v České metrologické společnosti.

**Upozornění:**

Tento kalibrační postup byl zpracován a posouzen v rámci úkolu rozvoje metrologie, řešeného pro Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví pod číslem PRM/VII/2/23. Šíření a využívání tohoto kalibračního postupu nebo jeho částí jakýmkoli komerčním způsobem je nepřipustné.

Tento kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům a doplnila s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky kalibrace.