



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

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

tel/fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

**Kalibrační postup**

**KP 7.2.1/02/22**

**PŘÍSTROJE NA MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU**

**Praha**

**Září 2022**

**Vzorový kalibrační postup** byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie

**Číslo úkolu:** PRM/VII/2/22

**Zadavatel:** Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

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

## 1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup platí pro vlhkoměry na měření vlhkosti vzduchu, zařazené do kategorie pracovních měřidel. Běžný rozsah kalibrace je (5 až 95) % RH (relative humidity – relativní vlhkost). Obvykle se jedná o absorpčně deformační (vlasové, blánové apod.) a digitální vlhkoměry s elektronickými snímači vlhkosti (kapacitní nebo odporové). Snímače vlhkosti mohou být součástí elektronické části indikační jednotky. Kalibrační postup se vztahuje také na měření kombinace teploty a vlhkosti, protože vlhkost je měřena vždy současně s teplotou. Běžné rozmezí měřících teplot je (20 až 25) °C, pracovní rozmezí snímačů se může v kladných teplotách pohybovat až do 90 °C.

## 2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody – Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[1]
	Mezinárodní metrologický slovník VIM 3	[2]
ČSN ISO 80000-1	Veličiny a jednotky. Část 1: Obecně	[3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[4]
NPL London	A Guide to the Measurement of Humidity	[5]
E+E Elektronik	Calibration of Hygrometers with non-saturated salt solutions	[6]
OIML R 121	The scale of relative humidity of air certified against saturated salt solutions. 1996	[7]
Rudolf Sýkora, COMET System s.r.o.	Úvod do vlhkosti plynů	[8]
NPL London	Good Practice Guide No. 124: The Beginner's Guide to Humidity Measurement	[9]
ILAC-G8:09/2019	Pokyny pro použití rozhodovacích pravidel a uvádění výroků o shodě	[10]
EA-4/02 M:2022	Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci	[11]

## 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků, kteří kalibrují měřidla vlhkosti je stanovena předpisem organizace, který se týká způsobilosti pracovníků v oboru metrologie. Příslušní pracovníci mají být seznámeni s tímto kalibračním postupem. Doporučuje se certifikace odborné způsobilosti těchto pracovníků.

## 4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v normách a ve slovníku VIM [L2]. Několik termínů, které mají vztah k měření vlhkosti vzduchu je vysvětleno v textu postupu. V příloze 1 tohoto kalibračního postupu je z nich uvedeno několik pojmů.

## 5 Prostředky potřebné pro kalibraci

Prostředky, které jsou potřeba pro kalibraci vlhkoměrů, se řídí jejich druhem, rozsahem teplot a požadavky na přesnost měření. Podle nich volíme jednak způsob generování vlhkosti (u pracovních měřidel je kalibrace obvykle prováděna v klimatizační komoře, směšovacím generátoru nebo pomocí statického generátoru vlhkosti), jednak etalonový vlhkoměr (psychrometrický, rosnobodový nebo kapacitní vlhkoměr). Do vybavení laboratoře patří také pomocná zařízení (termostaty, teploměry, barometr, stopky, pomůcky pro regeneraci, čisticí prostředky apod.). Při použití statického generátoru vlhkosti se jedná o přímé měření vlhkosti, při použití ostatních zdrojů vlhkosti jde o porovnání údaje kalibrovaného vlhkoměru s vlhkoměrem etalonovým.

Přístroje použité při kalibraci musí vyhovovat následujícím podmínkám:

- musí mít zaručenou metrologickou návaznost a platný kalibrační list,
- přesnost etalonu vlhkosti použitého při kalibraci vyjádřená ve formě rozšířené nejistoty s pravděpodobností pokrytí asi 95 % má být menší než přesnost kalibrovaného vlhkoměru. Při kalibraci vlhkoměrů relativní vlhkosti vzduchu se obtížně dosahuje běžný požadavek na etalon (jedna čtvrtina přesnosti kalibrovaného vlhkoměru). Vhodné je vyšší rozlišení údaje etalonu, přesnost je nutné individuálně posoudit podle specifikace kalibrovaného měřidla.

## 6 Obecné podmínky kalibrace

Postup platí pro kalibrace v laboratoři, kde pracujeme v referenčních podmínkách. Generátor vlhkosti, měřicí etalonové zařízení a jeho příslušenství je umístěno v klimatizované laboratoři (teplota  $t = 23,0 \text{ °C} \pm 3,0 \text{ °C}$  a relativní vlhkosti ovzduší 20 % RH až 80 % RH). Laboratoř by měla mít zajištěné bezprašné prostředí bez otřesů a chvění a bez přítomnosti ovlivňujících elektrických a magnetických polí. Všechny přístroje nesmí být vystaveny přímému slunečnímu záření.

## 7 Rozsah kalibrace

Kalibrace vlhkoměrů obsahuje následující části:

- vnější prohlídka,
- regenerace (pouze u absorpčně deformačních vlhkoměrů),
- zkouška správnosti údajů,
- vyhodnocení naměřených hodnot a nejistoty měření,
- vystavení kalibračního listu,
- označení kalibrovaného vlhkoměru kalibrační značkou.

Rozsah hodnot měření vlhkosti a teploty by si měl určit zákazník, obvykle se jedná o tři až pět bodů vlhkosti při konstantní nebo proměnné teplotě.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Kontrola měřidel dodaných ke kalibraci – vnější prohlídka

Při vnější prohlídce kontrolujeme zejména:

- zda není porušený vlasový svazek u vlasového vlhkoměru nebo blána u blánových vlhkoměrů,
- zda nejsou poškozeny seřizovací prvky, ukazatel,
- zda je čitelná stupnice,
- zda je měřidlo kompletní, u elektronických kontrolujeme stav akumulátoru (výpadek napájení při kalibraci v klimatické komoře znamená opětné provedení měření)
- zda není vlhkoměr jinak mechanicky poškozený, u měřidel se samostatnou sondou kontrolujeme i mechanický stav sondy,
- u dataloggerů bez displeje musíme mít k dispozici SW ke stažení měřených hodnot a nastavení intervalu odečtu.

V případě, že byla při vnější prohlídce zjištěna podstatná závada, kterou není v silách laboratoře odstranit, je vlhkoměr vyřazen z dalšího postupu kalibrace.

Při vnější prohlídce kontrolujeme také základní údaje vlhkoměru, např. značku výrobce, typ, výrobní nebo evidenční číslo, rozlišení nebo dělení, rozsah měření, deklarovanou přesnost apod. U komplexních měřidel je vhodné vyžádat od zákazníka manuál přístroje.

### 8.2 Příprava měřidel ke kalibraci

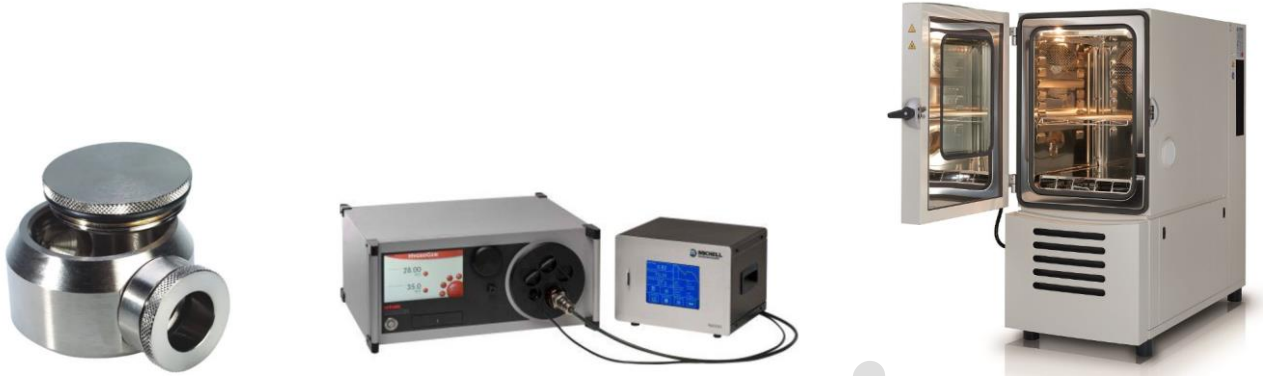
Vlhkoměr se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu dle čl. 6 na dobu potřebnou pro vyrovnání teplot, přičemž se zohlední především počáteční rozdíl teplot. Měřidlo se připraví ke kalibraci, v souladu s jeho technickou dokumentací. U dataloggerů bývá nastaven interval odečtu údajů teploty a vlhkosti v řádu desítek minut, což je pro kalibrační odečet nevhodné. Pomocí ovládacího SW se interval odečtu nastaví na hodnotu (1 až 5) minut. U loggerů bez displeje nastavíme i časovou osu, abychom prováděli odečet ve stejném časovém intervalu. Kalibrovaný vlhkoměr (snímač vlhkoměru) instalujeme co možná nejbližší etalonovému vlhkoměru (s výjimkou použití statického generátoru).

### 8.3 Regenerace deformačních vlhkoměrů

Regenerace se provádí u absorpčně deformačních vlhkoměrů, jejichž čidla ztrácejí při použití pružnost a tím i metrologické vlastnosti. Vlasy vlasových vlhkoměrů se očistí štětečkem a destilovanou vodou nebo lihem. Celý vlhkoměr se vloží do plastové vaničky vyložené navlhčeným molitanem nebo savou bavlněnou látkou (v destilované vodě). Odparu vody zabráníme tím, že nad vaničkou s vlhkoměrem vytvoříme uzavřený prostor např. překrytím igelitem, ve kterém se vlhkoměr nechá 2 až 3 hodiny. Další možností je, že se celý vlhkoměr zabalí do namočené a vyždímané bavlněné pleny. Vloží se do igelitového sáčku, zaváže se a nechá se 2 až 3 hodiny v tomto uzavřeném prostoru. Poslední možností je, že se vlhkoměr umístí na 2 až 3 hodiny do klimatické komory s vlhkostí 95 % RH. Přístroj by měl ve všech případech ukazovat po regeneraci hodnotu vlhkosti (90 až 100) % RH. Pokud tak neukazuje, nastaví se seřizovacím šroubkem na hodnotu 95 % RH. Přístroj jen nepatrně povytáhneme z igelitového obalu tak, aby bylo možno šroubovákem hodnotu nastavit. Poté se přístroj vrátí na cca 30 minut zpět do obalu a dostaví se eventuální odchylka. Při seřizování vlhkoměru v klimatické komoře musí být komora vybavena zabudovaným rukávцем, protože nelze nastavovat při otevření dveří (porušení stabilního klimatu). S tímto vybavením klimatické komory lze provádět nastavení i jiných typů vlhkoměrů, obecně je ale nastavení vlhkoměru problematické.

## 9 Postup kalibrace

Tento postup je určen především pro nejpoužívanější generátory vlhkosti – statický generátor (roztoky solí), směšovací generátor a klimatickou komoru (viz obr. č.1).



Obr. č. 1: Komůrka statického generátoru, směšovací generátor a klimatická komora

Hodnoty kalibračních bodů se vždy řídí požadavkem zákazníka. Kalibrace je obvykle prováděna ve dvou až pěti bodech, záleží také na použitém generátoru vlhkosti. Vlhkoměry je možné kalibrovat v rozsahu (10 až 98) % RH v klimatické komoře (rozsah podle druhu komory, při externím dosušování je možná i nižší hodnota vlhkosti), (5 až 95) % RH ve směšovacím generátoru vlhkosti, popř. v pevných bodech statického generátoru vlhkosti, kde hodnota vlhkosti odpovídá použitému roztoku soli. Standardní kalibrační teplota je teplota okolí tj.  $(23 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ . V klimatické komoře a směšovacím generátoru je možné na přání zákazníka kalibrovat vlhkoměry i při jiné teplotě v rozsahu teplot, který odpovídá pracovní charakteristice generátoru (většinou  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  až  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Při kalibraci vlhkosti při jiné než okolní teplotě, musí mít použitý etalon známou závislost teploty a vlhkosti včetně odpovídající nejistoty měření. Při kalibraci se postupuje od nižších vlhkostí k vyšším. Pokud se vlhkoměr dostane do prostředí s vlhkostí vyšší jak 80 % RH (např. při transportu, nebo při kalibraci teplotní části vlhkoměru), je možné nižší vlhkosti (jak 80 % RH) kalibrovat až po vysušení, tj. po minimálně 24 hodinách stabilizace vlhkoměru při běžné vlhkosti v laboratoři, nebo po minimálně jedné hodině sušení ve vlhkosti nižší jak 15 % RH.

Podle použitého generátoru vlhkosti se liší i doba ustálení parametrů – (50 až 120) min. v klimatické komoře, (20 až 60) min. ve směšovacím generátoru a (2 až 10) hodin ve statickém generátoru vlhkosti. V klimatické komoře můžeme kalibrovat všechny druhy vlhkoměrů, lze i více měřidel současně. Ve směšovacím generátoru vlhkosti lze kalibrovat vlhkoměry, jejichž snímače se rozměrově vejdou do měřicí komůrky tohoto generátoru. Další podmínkou je, že ke své činnosti nepotřebují nasávat měřený vzorek vzduchu o průtoku větším jak 0,5 l/min. Stejná podmínka platí i pro použití statického generátoru, kde lze kalibrovat také jen vlhkoměry, jejichž čidla se rozměrově vejdou do nádoby s daným solným roztokem (průměr otvoru je obvykle 8 až 12 mm), a které ke své činnosti nepotřebují nasávat měřený vzorek vzduchu.

### 9.1 Kalibrace vlhkoměrů ve statickém generátoru

Před provedením kalibrace vlhkoměrů se měřidlo ponechá v laboratorním prostředí vytemperovat. Exsíkátory s roztoky solí se nechají uzavřené temperovat v laboratorním prostředí minimálně 16 hodin. Teplota laboratorního prostředí během zkoušení nesmí překročit  $(22 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ , teplotní spád nesmí být větší než  $0,5 \text{ }^\circ\text{C/hod}$ , vlhkost vzduchu okolí nesmí přesáhnout 70 % RH. Zkoušky se ideálně provádí za barometrického tlaku, který je blízký standardnímu atmosférickému tlaku 101,325 kPa (obvykle je barometrický tlak nižší). Úplné podmínky prostředí se zapisují do záznamu o měření.

### 9.1.1 Kalibrace pomocí přesycených roztoků solí

Přesycené roztoky solí kyselin připravíme v destilované nebo demineralizované vodě podle uvedeného postupu. Pro snadné rozpuštění solí roztok zahřejeme. Roztok nalijeme do exsikátoru, vložíme mřížku a necháme nejméně 24 hodin stabilizovat v laboratorním prostředí.

Nad roztoky se v uzavřeném prostoru exsikátoru udržuje konstantní vzdušná vlhkost odpovídající vybranému roztoku soli. Doporučené soli se vybírají podle dokumentu [L7] s ohledem na malou toxicitu a prchavost, mají velkou chemickou stabilitu a malý teplotní koeficient. Dokument [L7] byl už vyřazen z databáze doporučených dokumentů OIML, tabulka doporučených solí je součástí tohoto dokumentu.

V doporučení [L7] je uvedeno 11 solných lázní, které umožní kalibrovat vlhkoměry v rozmezí 4 % RH až 98 % RH. Lázně jsou označené „HFP“ (Humidity fixed points) a číslem, které přibližně odpovídá relativní vlhkosti. Tlak vodní páry nad nasycenými roztoky je závislý na teplotě, proto je vhodné udržovat teplotu lázně stálou s odchylkami  $\pm 0,2$  °C. Přesycený roztok soli má být umístěn v uzavřené nádobě vhodného tvaru. Nádoba má být z materiálu, který nekoroduje a není hygroskopický (exsikátor). Objem nádoby  $V$  a plocha stěn  $S$  by měla mít co nejmenší poměr  $V/S$  a odpařovací plocha roztoku má být co největší. Výška nádoby bez cirkulace vzduchu nesmí přesáhnout nejmenší rozměr odpařovací plochy roztoku. Je-li v nádobě zajištěn oběh vzduchu, pak výška nádoby může být 1,5násobkem nejmenšího rozměru odpařovací plochy. Objem nádoby by neměl být větší, než je nutné k umístění vlhkoměru, který má být kalibrován. Pokud nádoba nemá teplotu řízenou termostatem, pak má být izolována, aby se omezily rozdíly teploty v kalibračním prostoru. Měření teploty vzduchu a lázně by mělo být s přesností  $\pm 0,1$  °C. Roztoky by se měly připravovat ze solí s čistotou „pro analýzu“ a z čisté (destilované nebo deionizované) vody. Pokud čistota soli není dostatečná, měla by být vyčištěna krystalizací. Sůl je vhodné rozpouštět ve vodě podstatně teplejší, než bude teplota při měření. Soli má být o 30 % více, než je potřebné pro nasycený roztok.

Při měření umístíme analogový absorpčně deformační vlhkoměr do exsikátoru tak, aby bylo možné pohodlně odečítat hodnotu. Digitální vlhkoměr zapneme do režimu ON, vložíme se sondou do exsikátoru a exsikátor uzavřeme (při pouhém vložení snímače je nutná vzduchotěsnost víka). Po cca 30 min začneme sledovat hodnotu vlhkosti a je-li vlhkost na vlhkoměru ustálená (konstantní) minimálně 90 min, provedeme deset odečtů vlhkosti indikované zkoušeným vlhkoměrem včetně odečtu teploty. Při měření relativní vlhkosti nižší než 50 % RH je nutná doba pro ustálení minimálně 180 minut.

	Rozsah použití °C	Relativní vlhkost při 20 °C
HFP 4 Fluorid césia CsF	od 15 do 80	3,8 % $\pm$ 1,1 %
HFP 7 Bromid lithia LiBr	od 5 do 80	6,6 % $\pm$ 0,6 %
HFP 12 Chlorid lithia LiCl	od 5 do 80	11,8 % $\pm$ 0,7 %
HFP 23 Acetát draselný CH <sub>3</sub> COOK	od 10 do 30	23,1 % $\pm$ 0,3 %
HFP 33 Chlorid magnesia MgCl <sub>2</sub>	od 5 do 80	33,1 % $\pm$ 0,2 %
HFP 43 Uhličitan draselný K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	od 5 do 30	43,2 % $\pm$ 0,4 %
HFP 59 Bromid sodný NaBr	od 5 do 80	59,1 % $\pm$ 0,5 %
HFP 70 Jodid draselný KI	od 5 do 80	69,9 % $\pm$ 0,3 %
HFP 75 Chlorid sodný NaCl	od 5 do 80	75,5 % $\pm$ 0,2 %
HFP 85 Chlorid draselný KCl	od 5 do 80	85,1 % $\pm$ 0,3 %
HFP 98 Síran draselný K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	od 5 do 50	97,6 % $\pm$ 0,6 %

TABULKA č. 1: Přehled solí dle [L7] včetně odpovídajících vlhkostí

### 9.1.2 Kalibrace pomocí nenasyčených roztoků solí

Renomovaní výrobci v oboru měřidel vlhkosti nabízejí speciální komůrky (kapsle – viz obr. 1) pro kalibrace různých průměrů vlhkostních snímačů, které používají nenasyčené roztoky solí. V kapalné formě jsou dodávány ve skleněných ampulkách s vyznačením referenční hodnoty vlhkosti (viz obr. č. 2).



Obr. č. 2: Ampulka roztoku soli pro 50 % RH

Mohou být uloženy na dobu neurčitou, jsou zdravotně nezávadné a manipulace s nimi nevyžaduje zvláštní bezpečnostní opatření. Sonda vzorku i kalibrační komora musí být čisté a suché. Pro čištění vstupního filtru snímače lze použít neagresivní rozpouštědla. Ucpané nebo silně znečištěné víčko filtru musí být před kalibrací nahrazeno originálním novým (obdobně silně znečištěný nebo mechanicky poškozený samotný filtr).

Pro přesnou kalibraci je nanejvýš důležité, aby sonda, která má být kalibrována, kalibrační komora a solný roztok měly stejnou teplotu, která musí zůstat po celou dobu kalibrace konstantní v rozmezí  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V ideálním případě by kalibrace měla probíhat v prostředí s kontrolovanou teplotou bez průvanu a přímého slunečního záření. Během kalibrace nesmíme držet kalibrační komůrku rukou. To by vedlo ke kolísání teploty a k ovlivnění výsledků kalibrace. Během celého procesu kalibrace musí kalibrační komora zůstat ve stabilní vodorovné poloze. Solný roztok se nesmí dostat do kontaktu s kalibrovaným snímačem (špičkou sondy). Stabilní nastavení komůrky může vyžadovat mechanické uchycení jak pro kalibrační komoru, tak pro sondu nebo pro obojí, např. v případě těžkých, dlouhých sond nebo vlhkoměrů namontovaných na stěnu/na potrubí s objemnými kryty. Postup měření je následující:

1. Umístěte / upevněte kalibrační komůrku ve vodorovné poloze. Sejměte kryt a na dno kalibrační komory položte textilní podložku (součást dodávky).
2. Vyberte ampuli s požadovanou referenční vlhkostí a jemně zatřeste a poklepejte ampulkou, aby se tekutina dostala do spodní části ampule.
3. Zatlačte na špičku ampule v místě značky, abyste ji rozlomili. Obsah ampulky vyprázdněte na textilní podložku za mírného poklepávání.
4. Vložte sondu do kalibrační komory, dokud nedosáhne opačné strana proti otvoru. Snímací hlava (špička sondy) nesmí přijít do kontaktu se solným roztokem. Neodstraňujte uzávěr filtru.
5. Nasadte kryt na kalibrační komůrku a pevně jej uzavřete. Vlhkoměr je nyní připraven ke kalibraci nebo seřízení.

Pro kalibraci i justování jsou doporučeny následující doby stabilizace:

45 min. pro 5, 10, 20, 35, 50, 65 % RH;

60 min. pro 80 % RH;

120 min. pro 95 % RH.

Případné nastavení kalibrovaného měřidla se provádí podle pokynů v návodu k obsluze. Na kalibrační list se uvedou jak hodnoty před, tak po nastavení. Textilní podložka se po každém měření zlikviduje, kalibrační komoru vypláchneme vodou a vytřeme do sucha měkkým hadříkem.

### 9.2 Kalibrace vlhkoměrů ve klimatických komorách a směšovacích generátorech

Klimatické komory nastavují relativní vlhkost vzduchu nástřikem a odparem vody do prostoru komory nebo odparem vody z vany na dně komory. Směšovací generátory rozdělí nasávaný vzduch do dvou sekcí. V jedné je kaskádním sušením dosaženo dokonalé vysušení (cca 0 % RH), ve druhé je vzduch



probubláván přes vodní náplň (cca 100 % RH). Požadovaná vlhkost je dosažena smísením obou proudů vzduchu v požadovaném poměru dle realizované vlhkosti.

### 9.2.1 Absorpčně deformační vlhkoměry

Jedná se nejčastěji o vlasové vlhkoměry. Po regeneraci vlhkoměru a jeho seřízení se nechá stabilizovat cca jednu hodinu a pak se provede porovnání s etalonem při vlhkosti v prostoru laboratoře. Je-li rozdíl větší jak 5 % RH a vlhkoměr umožňuje seřízení ve dvou bodech, provedeme seřízení při této vlhkosti. Po seřízení při vlhkosti laboratoře je vhodné opakovat regeneraci. Seřízení opakujeme tak dlouho, dokud nejsou obě hodnoty v požadovaných tolerancích. Po tomto seřízení se provede kalibrace porovnáním s etalonem v klimatické komoře na hodnotách vlhkostí požadovaných zákazníkem. Není-li dvoubodové seřízení možné, pokračujeme v kalibraci obdobně jako po seřízení.

### 9.2.1 Digitální vlhkoměry s elektronickými snímači

Kapacitní nebo odporové snímače vlhkosti mohou být připojeny k indikační jednotce kabelem i bezdrátově (různé typy měřicích ústředí). Kalibrace se provede porovnáním s etalonem v klimatické komoře nebo směšovacím generátoru vlhkosti tak, že snímače kalibrovaného měřidla jsou umístěny co nejbližší ke snímači referenčnímu (kapacitní, psychrometrický nebo rosnobodový vlhkoměr). U jednotek, které mají snímač součástí elektroniky měřidla, umísťujeme co nejbližší k referenčnímu snímači vstupní otvor vzduchu do kalibrovaného měřidla. Z naměřených hodnot lze u některých typů vlhkoměrů zadat nové konstanty pro přepočítání vlhkosti (dle technické dokumentace vlhkoměru). U těchto vlhkoměrů se po nastavení konstant provede nové úplné měření.

U vlhkoměrů s výstupem signálu na převodníky elektrických veličin se měří závislost výstupního signálu (napětí, proud, odpor, frekvence aj.) na etalonové vlhkosti.

U záznamníků vlhkosti se před kalibrací seřídí čas záznamníku, nastaví se četnost záznamů na nejmenší možný interval a při odečtech se odečítá etalonová vlhkost a čas odečtu. Po měření se porovnají etalonové hodnoty vlhkosti s hodnotami vlhkosti uloženými v paměti záznamníku ve stejném časovém intervalu. V případě, že záznamník je vybaven displejem a zobrazuje průběžnou hodnotu vlhkosti, můžeme ho kalibrovat stejným postupem jako běžný vlhkoměr bez záznamu. Na závěr je vhodné provést kontrolu, zda záznamník plní svou funkci a ukládá data do paměti.

Většina vlhkoměrů měří více veličin, tj. kromě relativní vlhkosti měří i teplotu, příp. další veličiny (rosný bod, mokrou teplotu, barometrický tlak aj.). Proto se na přání zákazníka provádí i kontrola správnosti dalších údajů, nejčastěji teploty. Kalibrace teploty se může provést i před kalibrací vlhkosti porovnáním s etalonem teploty v klimatické komoře, příp. v jiném zařízení dle provedení vlhkoměru. Na kalibrace teploty se vztahují jiné vzorové postupy.

Při jakýchkoli vlhkostních přepočtech se měří atmosférický tlak v laboratoři a počítá se s ním. K vlhkostním přepočtům je možné využít různé kalkulátory např. z webů renomovaných výrobců měřidel vlhkosti (Rotronic, Vaisala, Michell aj.) Validace je možná vložím stejných dat do různých kalkulátorů vlhkosti a porovnáním výsledků.

Současnou kalibraci provádíme u max. 6 měřidel V1 až V6 s tím, že odečty provádíme podle klasického schématu (etalon ET první a poslední):

ET - V1 - V2 - V3 - V4 - V5 - V6

V6 - V5 - V4 - V3 - V2 - V1 - ET

V6 - V5 - V4 - V3 - V2 - V1 - ET

ET - V1 - V2 - V3 - V4 - V5 - V6

U všech typů vlhkoměrů se provádí obvykle jedna až dvě série odečtů po 4 čteních údajů podle výše uvedeného schématu. Při podezření na nesprávné výsledky měření se provede druhé nezávislé měření.

Referenční hodnotu z údajů etalonu  $H_{et}$  i měřenou hodnotu kalibrovaného vlhkoměru  $H_X$  určíme aritmetickým průměrem – viz rovnice 1 uvedena

## 10 Vyhodnocení kalibrace

pro měřidlo. Hodnot etalonu korigujeme v souladu s odchylkami na kalibračním listu etalonu.

$$H_X = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n H_{Xi} \quad (1)$$

kde  $H_{Xi}$  je čtený údaj kalibrovaného vlhkoměru a  
 $n$  je počet odečtů.

Vzhledem k praktickému používání výsledků kalibrace uživatelem vlhkoměru je vhodné dopočítat hodnoty  $H_{et}$  na jmenovitou hodnotu procent relativní vlhkosti. Následně o tento rozdíl korigujeme i aritmetický průměr údajů kalibrovaného vlhkoměru  $H_X$ . Dopočet provádíme pouze tehdy, nepřesáhne-li velikost odchylky 1,5 % RH.

U vlhkoměrů s převodníky se na základě požadavku zákazníka vypočítá rovnice pro přepočet výstupního signálu vlhkoměru na relativní vlhkost a v kalibračním listu se uvede jak hodnota výstupního signálu, tak hodnota relativní vlhkosti spolu s přepočtovými rovnicemi.

U záznamníků vlhkosti se archivuje datový SW záznam, nejlépe v elektronické podobě. Jestliže je zákazníkem požadováno vyhodnocení shody se specifikací (specifikace dle údaje výrobce nebo dle požadavku zákazníka), postupujeme důsledně podle dokumentu [L10] s tím, že na kalibrační list uvedeme, jaká specifikace je plněna, na které údaje se vyhodnocení vztahuje (měřené hodnoty) a jaké rozhodovací pravidlo bylo při vyhodnocení použito. Při volbě rozhodovacího pravidla máme několik možností – jednoduché binární pravidlo se sdíleným rizikem, binární pravidlo s respektováním ochranného pásma a nebinární pravidlo s respektováním ochranného pásma. Detaily ohledně použití viz uvedený dokument (<https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2020/04/ILAC-G8-2019-1.pdf>).

## 11 Kalibrační list

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Obsah kalibračního listu by měl odpovídat požadavkům [L1] a měl by obsahovat především:

- 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) místo provedení kalibrace,
- e) název, typ, výrobce a identifikační znak tlakoměru (výrobní nebo identifikační číslo),
- f) datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- g) určení specifikace uplatněné při vyjádření shody a označení použitého kalibračního postupu,
- h) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- i) obecný odkaz na návaznost měřidel použitých při kalibraci resp. 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 a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, identifikaci kalibrační laboratoře.

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

### 11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předává objednateli kalibrace. Jeho kopii si ponechává kalibrační laboratoř a archivuje ji v souladu se svým archivačním řádem, obvykle nejméně po dobu 5 let. Doporučuje se archivovat kalibrační záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty místo do kalibračního listu uvádět do metrologické evidenční karty měřidla nebo ukládat do paměti počítače.

### 11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem, na němž je uvedeno datum provedené kalibrace a identifikace kalibrační laboratoře.

V případě, že je výsledek kalibrace nevyhovující, označí se měřidlo štítkem NEVYHOVUJE. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně.

## 12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen v písemné nebo elektronické formě u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku na titulní straně.

Změny, popř. revize kalibračního postupu je oprávněn provádět jeho zpracovatel, změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

## 13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

### 13.1 Rozdělovník

Kalibrační postup		Převzal		
výtisk číslo	obdrží	jméno	podpis	datum

### 13.2 Úprava a schválení

Kalibrační postup	jméno	podpis	datum
upravil			
schválil			

### 13.3 Revize

strana	popis změny	zpracoval	schválil	datum

## 14 Stanovení nejistoty měření (příklad výpočtu)

**Standardní nejistota typu A**  $u_A$  (opakovatelnost) vychází ze statistické analýzy opakovaného měření. Odhad výsledné hodnoty pro počet měření  $N$  je vyjadřován aritmetickým průměrem:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

Nejistota tohoto odhadu se určí jako výběrová směrodatná odchylka této hodnoty podle vztahu:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Ve většině případů je standardní nejistota typu A v porovnání se standardní nejistotou typu B zanedbatelná, protože etalonová hodnota i hodnota kalibrovaného vlhkoměru jsou většinou poměrně stabilní. Mezi hlavní zdroje **standardní nejistoty typu B**  $u_B$  patří:

- $u_{ET}$  ... nejistota kalibrace etalonového vlhkoměru – je uvedena v jeho kalibračním listu,
- $u_{LIN}$  ... chyba dopočtu etalonu v mezilehlých bodech – určuje se odhadem z chování odchylek v kalibrovaných bodech,
- $u_{TEP}$  ... teplotní závislost etalonu – uvažuje se pouze, pokud je daný vlhkostní etalon použit při jiné teplotě, než při které byl kalibrován – je dána technickou specifikací etalonu nebo kalibrací etalonu při různých teplotách,
- $u_{ST}$  ... dlouhodobá stabilita etalonu (drift) – určí se buď z údajů od výrobce nebo z odchylek kalibračních bodů dle předchozích kalibrací etalonu,
- $u_{RE}$  ... čtení etalonového vlhkoměru – zahrnuje rozlišení etalonového vlhkoměru, u rosnobodového etalonového vlhkoměru i nepřesnost přepočtu rosného bodu na relativní vlhkost (pokud není relativní vlhkost kalibrována), příp. jiné možné přepočty vlhkostních veličin týkající se etalonu (přepočet suché a mokré teploty etalonového psychrometru na relativní vlhkost ...),
- $u_{RM}$  ... čtení kalibrovaného vlhkoměru – zahrnuje rozlišení kalibrovaného digitálního vlhkoměru, odečitatelnost u ručkového vlhkoměru, nepřesnost případných přepočtů, zvlnění papíru v hygrografu nebo termohygrografu,
- $u_{SH}$  ... nestabilita vlhkostního pole – je dána parametry použitého zařízení při kalibraci,
- $u_{HH}$  ... nehomogenita vlhkostního pole – je dána parametry použitého zařízení při kalibraci a umístěním kalibrovaného vlhkoměru vzhledem k etalonu,
- $u_{DYN}$  ... rozdílná dynamika etalonového a kalibrovaného vlhkoměru – je dána fyzikálními vlastnostmi vlhkostních čidel etalonového a kalibrovaného vlhkoměru (rozměry, materiál, konstrukce), určuje se odhadem,

$u_{OST}$  ... ostatní vlivy – vliv dalších členů měřicího řetězce (převodníky, připojovací místa, měřicí ústředny, ukazatele, výpočtový SW ...).

Hodnoty stability a homogenity zařízení, generujících vlhkost, by měla mít laboratoř změřené alespoň ve třech nejčastěji kalibrovaných vlhkostech (teplotách) a dokumentované v kalibračních listech nebo v protokolech o měření daných zařízení.

**Kombinovaná standardní nejistota**  $u_c$  se vypočte podle vztahu

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (4)$$

Takto vypočtená kombinovaná standardní nejistota se přečte na **rozšířenou nejistotu**  $U$  s koeficientem rozšíření  $k_U = 2$  za předpokladu výsledného normálního rozdělení pravděpodobnosti (konfidenční pravděpodobnost vyšší než 95 %). V případě jedné nebo dvou dominantních složek nejistot typu B s rovnoměrným rozdělením pravděpodobnosti se koeficient rozšíření určí dle příkladu S9 nebo S10 dokumentu [L11].

$$U = k_U \cdot u_c = 2 \cdot u_c \quad (5)$$

**Rozšířená nejistota je vyjádřena v % RH.**

Pro příklad výpočtu nejistoty jsme zvolili kalibraci kapacitního vlhkoměru se zabudovaným snímačem vlhkosti s rozlišením 0,1 % RH. Jako etalonu bylo použito rosnobodového vlhkoměru s rozlišením 0,01 % RH. Relativní vlhkost byla měřena v klimatické komoře při teplotě 40 °C (zohledněno přidavnou chybou dle specifikace etalonu), hodnota vlhkosti 80 %. Kalibrovaný vlhkoměr byl umístěn ve středu komory, vstupní otvor vzduchu byl v bezprostřední blízkosti zrcátka vlhkoměru. Odečty byly stejné, nejistota typu A je tedy nulová. Symboly v tabulce odpovídají hlavním zdrojům uvedeným výše. Údaj etalonu po korekci 0,4 % RH ... 80 % RH, údaj měřidla při započtení stejné korekce ... 78,6 % RH.

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Rozdělení pravděpodobnosti	$\kappa$	Citlivostní koeficient $K$	Příspěvek k nejistotě $u_{vi}$
$\delta_{ET}$	0,8 % RH	normální	2,000	1	0,40 % RH
$\delta_{LIN}$	0,1 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,06 % RH
$\delta_{TEP}$	0,5 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,29 % RH
$\delta_{ST}$	0,6 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,35 % RH
$\delta_{RE}$	0,01 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,006 % RH
$\delta_{RM}$	0,1 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,06 % RH
$\delta_{SH}$	0,4 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,23 % RH
$\delta_{HH}$	1,2 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,69 % RH
$\delta_{DYN}$	0,3 % RH	rovnoměrné	1,732	1	0,17 % RH
$\delta_{OST}$	0,0 % RH	rovnoměrné	1,732		0,00 % RH
<b>kombinovaná standardní nejistota</b>			0,97		
koeficient rozšíření			2		
<b>rozšířená standardní nejistota</b>			<b>1,93</b>		

TABULKA č. 2: Výpočet nejistoty při kalibraci relativní vlhkosti vzduchu

Rozšířená standardní nejistota se vypočte podle vztahu

$$U = 2\sqrt{\sum u_y^2} \quad (6)$$

Kalibrovaný vlhkoměr indikuje při jmenovité 80 % RH hodnotu  $(78,6 \pm 1,9)$  % RH.

## 15 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/2/22. 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.

### Změny proti předchozímu vydání z roku 2008

Kalibrační postup byl původně zpracován pouze pro použití statického generátoru jako zdroje vlhkosti. Vzhledem k tomu, že většina laboratoří používá buď klimatické komory nebo různé typy přenosných huminátorů (směšovací generátor), byl postup rozšířen o použití těchto zařízení a zásadně přepracován. Pro kalibraci vlhkoměrů neexistuje mnoho zdrojových dokumentů s obecnou platností, proto bylo využito doporučení výrobců a zkušeností z odborné praxe. Stanovení nejistot je přepracováno v souladu s dokumentem EA - 4/02M:2022, složky nejistot byly důkladněji identifikovány a popsány. Kalibrační postup uvádí také nový příklad stanovení nejistoty měření při kalibraci kapacitního snímače vlhkosti. Přílohy, které už nemají obecnou platnost, byly z postupu vypuštěny. Ponechána byla pouze **příloha 1** (pojmy z oboru vlhkosti) a **příloha 2** (teplotní závislost solí statického generátoru).

## 16 Přílohy

### Příloha č. 1

#### PŘEHLED VLHKOSTNÍCH VELIČIN

**absolutní vlhkost** (hustota vodní páry)  $d_v$  je poměr hmotnosti vodní páry  $m_v$  a objemu vlhkého vzduchu  $V$ :  $d_v = m_v / V$ . Slovo „absolutní“ v názvu této veličiny se používá proto, že to má vztah k „absolutnímu“ určení vlhkosti: měření se uskuteční tak, že daný objem vlhkého vzduchu projde přes vysoušecí látku (např.  $P_2O_5$ ,  $CaCl_2$ ,  $H_2SO_4$ , silikagel atd.) a pak ze zvýšení hmotnosti vysoušecí látky, způsobené vodní parou se určí, jakou absolutní vlhkost daná vzduššina měla. V praxi se tento způsob měření vlhkosti používá málokdy, protože realizace je spojena s řadou potíží. Jednotkou absolutní vlhkosti je  $[d_v] = kg/m^3$  nebo častěji  $[d_v] = g/m^3$ . V uzavřeném prostoru je absolutní vlhkost konstantní;

**deficit teploty rosného bodu** – rozdíl teploty vzduchu a teploty rosného bodu;

**hmotnostní koncentrace vodní páry**  $q$  je podíl hmotnosti vodní páry  $m_v$  k celkové hmotnosti vlhkého vzduchu ( $m_v + m_a$ ), které jsou obsaženy v daném objemu vlhkého vzduchu:  $q = m_v / (m_v + m_a)$ . Je to bezrozměrová veličina, často se uvádí  $[q] = g/kg$ ;

**hustota vodní páry** – viz *absolutní vlhkost*;

**měrná vlhkost vzduchu** – tak se označuje několik veličin, například *směšovací poměr* nebo *specifická vlhkost*;

**molární koncentrace páry**  $q_{mol}$  vyjadřuje podíl látkového množství vodní páry  $n_v$  a celkového látkového množství vzduchu ( $n_a + n_v$ );

**molární směšovací poměr** vlhkého vzduchu  $r_m$  vyjadřuje podíl látkového množství páry  $n_v$  a látkového množství suchého vzduchu  $n_a$ ;

**molární zlomek** vodní páry vlhkého vzduchu  $x_v$  je poměr látkového množství  $n_v$  vodní páry, obsažené ve vzduchu, k celkovému látkovému množství vlhkého vzduchu  $x_v = n_v / (n_v + n_a)$ .  
Jednotkou je  $[x_v] = mol/mol$ ;

**objemová koncentrace vlhkosti** – v technické praxi se často počítá s objemovým složením směsi. Vychází se z objemu, který by zaujala příslušná složka, kdyby se její tlak rovnal tlaku celkovému. Je to bezrozměrná veličina, která se používá k charakterizaci velmi malých koncentrací vodní páry. Jednotkou bývá často ppm (pars per milion - miliontina);

**objemový podíl vodní páry** – viz *objemová koncentrace vlhkosti*;

**objemový zlomek** – viz *objemová koncentrace vlhkosti*;

**parciální hustota vodní páry** – viz *absolutní vlhkost*;

**parciální tlak vodní páry vlhkého vzduchu**  $e'$  je tlak, který z celkového tlaku  $p$  směsi má vodní pára. Dá se vyjádřit celkovým tlakem vlhkého vzduchu  $p$  a směšovacím poměrem vlhkého vzduchu  $r$ ;

**poměrná vlhkost** – viz *relativní vlhkost*;

**relativní vlhkost**  $RV$  vlhkého vzduchu při tlaku  $p$  a teplotě  $T$  je poměr hodnoty některé vlhkostní veličiny v daném prostředí k hodnotě téže veličiny při stavu nasycení. Výsledek se často násobí stem a pak je relativní vlhkost vyjádřena v procentech;

**rosná teplota** (nebo **teplota ojínění**) je teplota, při níž se vodní pára v daném vlhkém vzduchu, ochlazeném izobaricky stane nasycenou vzhledem na vodu (nebo led);

**rosný tlak** je takový tlak, při němž je plyn za daných podmínek nasycen vodní parou. Když se např. plyn stlačuje při konstantní teplotě, při určitém tlaku (při rosném tlaku) se na hladkých plochách objeví orosení nebo ojínění;

**směšovací poměr** vlhkého vzduchu se považuje za základní veličinu pro vyjadřování vlhkosti reálného plynu. Je to podíl hmotnosti  $m_w$  vodní páry a hmotnosti  $m_a$  suchého vzduchu, které jsou v daném objemu:  $r = m_w / m_a$ . Směšovací poměr nasyceného vlhkého vzduchu nad hladinou vody označíme  $r_w$ , nad ledem  $r_i$ . Směšovací poměr vlhkého vzduchu nezávisí ani na teplotě ani na tlaku vzduchu. Pro některé výpočty je výhodné, že se u směšovacího poměru vlhkost vztahuje na suchý vzduch. Při změnách vlhkosti v uzavřené soustavě, kde je množství suchého vzduchu stálé, se vyjadřování vlhkostních poměrů zjednoduší. Jednotkou směšovacího poměru je:  $[r] = \text{kg/kg}$ , nebo častěji  $[r] = \text{g/kg}$ ;

**specifická vlhkost** – jiné označení pro *hmotnostní koncentraci vodní páry*;

**stupeň nasycení vzduchu**  $\psi$  se někdy v technické praxi používá místo relativní vlhkosti;

**teplota mezního adiabatického ochlazení**  $t_{ad}$  je taková teplota, na niž v tepelně izolované soustavě lze odpařením vody adiabaticky ochladit vzduch při stálém tlaku. Teplotě  $t_{ad}$  se blíží údaj ovlhčeného teploměru aspiračního psychrometru;

**teplota ojínění** viz *rosná teplota*;

**teplota rosného bodu** viz *rosná teplota*;

**tlak nasycené vodní páry v čisté fázi** nad hladinou vody  $e_w$  nebo nad ledem  $e_i$  je jen funkcí teploty. Hodnoty těchto tlaků se počítají z polynomů. Použití této veličiny je výhodné pro vzájemné přepočty různých vlhkostních veličin. Jednotkou je pascal. Poznámka: doplněk v názvu této veličiny *..v čisté fázi...* znamená, že v daném prostoru je jen voda (nebo led) a vodní pára, jiné plyny tam nejsou;

**tlak vodní páry** viz *parciální tlak vodní páry*.



Příloha č. 2

Závislost realizace vlhkosti pomocí solí statického generátoru na teplotě roztoku (převzato z L7)

Equilibrium relative humidity values for selected saturated aqueous salt solutions

t °C	Relative humidity %										
	HFP 4 Caesium Fluoride (7)	HFP 7 Lithium Bromide (7)	HFP 12 Lithium Chloride (7)	HFP 23 Potassium Acetate (7)	HFP 33 Magnesium Chloride (7)	HFP 43 Potassium Carbonate (7)	HFP 59 Sodium Bromide (7)	HFP 70 Potassium Iodide (7)	HFP 75 Sodium Chloride (8)	HFP 85 Potassium Chloride (7)	HFP 98 Potassium Sulfate (7)
5	-	7.4 ± 0.8	13 <sup>(3)</sup>	-	33.6 ± 0.3	43.1 ± 0.5	63.5 ± 0.8	73.3 ± 0.4	75.7 ± 0.3	87.7 ± 0.5	98.5 ± 1.0
10	-	7.1 ± 0.7	13 <sup>(4)</sup>	23.4 ± 0.6	33.5 ± 0.3	43.1 ± 0.4	62.2 ± 0.6	72.1 ± 0.4	75.7 ± 0.3	86.8 ± 0.4	98.2 ± 0.8
15	4.3 <sup>(1)</sup> ± 1.4 <sup>(2)</sup>	6.9 ± 0.7	12 <sup>(5)</sup>	23.4 ± 0.4	33.3 ± 0.3	43.2 ± 0.4	60.7 ± 0.6	71.0 ± 0.3	75.6 ± 0.2	85.9 ± 0.4	97.9 ± 0.7
20	3.8 ± 1.1	6.6 ± 0.6	12 <sup>(6)</sup>	23.1 ± 0.3	33.1 ± 0.2	43.2 ± 0.4	59.1 ± 0.5	69.9 ± 0.3	75.5 ± 0.2	85.1 ± 0.3	97.6 ± 0.6
25	3.4 ± 1.0	6.4 ± 0.6	11.3 ± 0.3	22.5 ± 0.4	32.8 ± 0.2	43.2 ± 0.4	57.6 ± 0.4	68.9 ± 0.3	75.3 ± 0.2	84.2 ± 0.3	97.3 ± 0.5
30	3.0 ± 0.8	6.2 ± 0.5	11.3 ± 0.3	21.6 ± 0.6	32.4 ± 0.2	43.2 ± 0.5	56.0 ± 0.4	67.9 ± 0.3	75.1 ± 0.2	83.6 ± 0.3	97.0 ± 0.4
35	2.7 ± 0.7	6.0 ± 0.5	11.3 ± 0.3	-	32.1 ± 0.2	-	54.6 ± 0.4	67.0 ± 0.3	74.9 ± 0.2	83.0 ± 0.3	96.7 ± 0.4
40	2.4 ± 0.6	5.8 ± 0.4	11.2 ± 0.3	-	31.6 ± 0.2	-	53.2 ± 0.5	66.1 ± 0.3	74.7 ± 0.2	82.3 ± 0.3	96.4 ± 0.4
45	2.2 ± 0.5	5.7 ± 0.4	11.2 ± 0.3	-	31.1 ± 0.2	-	52.0 ± 0.5	65.3 ± 0.3	74.5 ± 0.2	81.7 ± 0.3	96.1 ± 0.4
50	2.1 ± 0.4	5.5 ± 0.4	11.1 ± 0.3	-	30.5 ± 0.2	-	50.9 ± 0.6	64.5 ± 0.3	74.5 ± 0.9	81.2 ± 0.4	95.8 ± 0.5
55	2.0 ± 0.4	5.4 ± 0.3	11.0 ± 0.3	-	29.9 ± 0.2	-	50.2 ± 0.7	63.8 ± 0.4	74.5 ± 0.9	80.7 ± 0.4	-
60	2.0 ± 0.4	5.3 ± 0.3	11.0 ± 0.3	-	29.3 ± 0.2	-	49.7 ± 0.8	63.1 ± 0.4	74.4 ± 0.9	80.3 ± 0.5	-
65	2.1 ± 0.5	5.3 ± 0.3	10.9 ± 0.3	-	28.5 ± 0.3	-	49.5 ± 1.0	62.5 ± 0.4	74.2 ± 0.9	79.9 ± 0.5	-
70	2.2 ± 0.6	5.2 ± 0.3	10.8 ± 0.4	-	27.8 ± 0.3	-	49.7 ± 1.1	61.9 ± 0.4	74.1 ± 0.9	79.5 ± 0.6	-
75	2.4 ± 0.7	5.2 ± 0.2	10.6 ± 0.4	-	26.9 ± 0.3	-	50.3 ± 1.3	61.4 ± 0.5	74.0 ± 0.9	79.2 ± 0.7	-
80	2.6 ± 0.8	5.2 ± 0.2	10.5 ± 0.5	-	26.1 ± 0.4	-	51.4 ± 1.5	61.0 ± 0.5	73.9 ± 0.9	78.9 ± 0.8	-

- 1) HFP : humidity fixed point
- 2) ΔHFP<sub>p</sub> : the uncertainties with which the HFP values are reported in literature rounded to 0.1 % (these values can be considered as equivalent to expanded uncertainties calculated with k = 2)
- 3) Values dispersion from 11.2 % to 14.0 %
- 4) \* from 11.3 % to 14.3 %
- 5) \* from 11.3 % to 13.8 %
- 6) \* from 11.1 % to 12.6 %
- 7) HFP values according to L. Greenspan [6]
- 8) HFP values according to a) L. Greenspan from 5 °C to 45 °C [6]  
b) P.H. Huang and J.R. Wheistone from 50 °C to 80 °C [14]