4/2024
ROČNÍK 33

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ

Během posledního jednání redakční rady časopisu Metrologie dne 17. 10. 2024 ukončil aktivní činnost v redakční radě její dlouholetý člen, pan

Ing. František Jelínek, CSc.

Této činnosti se poctivě a odpovědně věnoval přes třicet let. Členem redakční rady se stal v době, kdy zastával funkci náměstka ředitele Českého metrologického institutu, později odborného ředitele pro fundamentální metrologii ČMI. Před nástupem na ČMI pracoval ve Výzkumném ústavu sdělovací techniky A. S. Popova, kde se věnoval rozvoji mikrovlnné techniky. Po nástupu na ČMI se podílel na založení Oddělení mikrovlnné techniky a frekvence. Za výrazný podíl na rozvoji této techniky obdržel v roce 2007 ocenění od České elektrotechnické společnosti. Profesní kariéru ukončil v roce 2006. Během působení v redakční radě vždy uplatňoval své bohaté zkušenosti z oboru elektrických veličin i z ostatních oborů metrologie. Jeho redakční připomínky k autorským textům jsou nejen fundované, ale jsou také podávány kultivovanou a laskavou formou. Vždy uplatňuje zásadu, že technický text musí mít kromě odborné pravdivosti také jazykovou kulturu. Tímto pravidlem se řídí i při tvorbě vlastních příspěvků. Rádi bychom touto cestou poděkovali Ing. Jelínkovi za jeho dlouholetou činnost v redakční radě našeho časopisu a popřáli mu do dalších let pevné zdraví a nekonečnou inspiraci nejen v metrologii. Těšíme se také na další příležitostnou spolupráci, kterou nám slíbil i v dalších letech.

Redakční rada časopisu Metrologie

OBSAH

METROLOGIE V PRAXI

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, PhD.
Ing. Sohaibullah Zarghoon
Rozložení teplotního pole v primární a sekundární chladicí zóně během procesu kontinuálního lití 2

Ing. Josef Vojtíšek
Měření vlhkosti vzduchu v klimatických komorách za vyšších teplot 5

ZKUŠEBNICTVÍ

Ing. Lubomír Keim, CSc.
Změny v označování stavebních výrobků při jejich uvádění na trh v České republice 13

Ing. Jiří Samsonek, Ph.D.
Aspekty recyklace polymerních materiálů ve vztahu k požadavkům cirkulární ekonomiky 15

VĚDA A VÝZKUM

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.
Pokročilé metody kalibrace hmotnosti závaží 20

INFORMACE

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Nadmořská výška 24

Ing. Miroslav Čermák
Česká agentura pro standardizaci přináší novinky ze světa technických norem 26

Mgr. Svatava Lagronová, Ph.D.
(Ne)plynulý přechod k nařízení o zdravotnických prostředcích a nařízení o diagnostických zdravotnických prostředcích *in vitro* 30

Ing. Jan Kavalírek a kol.
ČMI již intenzivně posuzuje shodu zdravotnických prostředků 34

Ing. Bohumír Blažek
Kalibrační laboratoř Testo CZ 36

HISTORIE

Ing. František Hnízdil
Také metrologie může být úsměvná 39

Nabídka akcí ČMS na I. pololetí roku 2025

METROLOGY IN PRACTICE

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, PhD.
Ing. Sohaibullah Zarghoon
Temperature Field Distribution in the Primary and Secondary Cooling Zones During the Continuous Casting Process 2

Ing. Josef Vojtíšek
Measuring Air Humidity in Climate Chambers at Higher Temperatures 5

TESTING

Ing. Lubomír Keim, CSc.
Marking of Construction Products with the Czech Conformity Mark CCZ 13

Ing. Jiří Samsonek, Ph.D.
Aspects of Recycling Polymeric Materials in Relation to the Requirements of the Circular Economy 15

SCIENCE AND RESEARCH

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.
Advanced Methods for Calibrating Weights 20

INFORMATION

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Altitude 24

Ing. Miroslav Čermák
Czech Standardization Agency - News from the World of Technical Standards 26

Mgr. Svatava Lagronová, Ph.D.
The (Not-So-)Smooth Transition to the Medical Devices Regulation and the *In Vitro* Diagnostic Medical Devices Regulation 30

Ing. Jan Kavalírek a kol.
CMI Already Intensively Assesses the Conformity of Medical Devices 34

Ing. Bohumír Blažek
Testo CZ Calibration Laboratory 36

HISTORIE

Ing. František Hnízdil
Metrology Can Be Fun Too 39

The List of ČMS Events in the 1st Half of 2025

Vážení odběratelé a čtenáři časopisu Metrologie

Upozorňujeme, že zájemci o odběr časopisu Metrologie by si měli zajistit předplatné pro rok 2025. Objednávku zašlete poštou nebo mailem na: PhDr. Bořivoj Kleník, nakladatelský servis Q-art, Bezdědice 19, 294 25 Katusice. IČ-17004438, DIČ-CZ500723418, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz

ROZLOŽENÍ TEPLOTNÍHO POLE V PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ CHLADICÍ ZÓNĚ BĚHEM PROCESU KONTINUÁLNÍHO LITÍ

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.
Ing. Sohaibullah Zarghoon

Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Strojnická fakulta

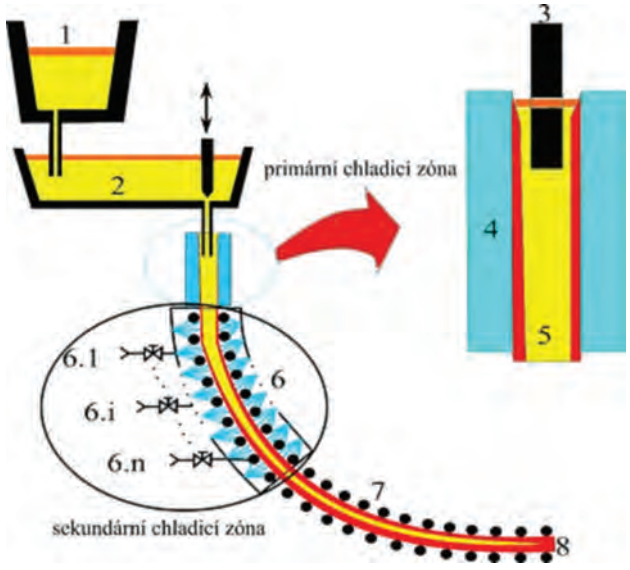
Abstrakt

V procesu kontinuálního lití jsou primární a sekundární chladicí zóny klíčové pro určení kvality litého výrobku. Tento příspěvek se zaměřuje na metrologickou přesnost a zabezpečení podmínek daného teplotního pole v těchto zónách prostřednictvím simulací založených na fyzikálních modelech. Použitím pokročilých tepelných modelů, které zohledňují dynamiku přenosu tepla, si experiment klade za cíl přesně simulovat rozložení teploty během primárního a sekundárního chladicího procesu. Výsledky simulací poskytují poznatky pro optimalizaci chladicích strategií, čímž přispívají ke zlepšení kvality výrobků a minimalizaci defektů. Tento přístup zdůrazňuje význam přesné kontroly teploty v procesu kontinuálního lití a vyzdvihuje účinnost fyzikálních modelů při dosahování metrologické přesnosti.

Klíčová slova: metrologie, přenos tepla, kontinuální lití, teplotní pole

1. Úvod

Tavená ocel je přenášena z pánve (2) do formy (3) za účelem jejího chlazení a tvarování. Forma (**obr. 1**), která je klíčovou součástí procesu kontinuálního lití, slouží jako hlavní chladicí zóna, kde se tloušťka solidifikační slupky (5) oceli zvyšuje z 8 mm na 10 mm. Pro zajištění správné solidifikace ve formě je na jednu tunu oceli potřeba 5 až 20 krychlových metrů vody, která je pod tlakem 0,6 MPa. Do formy jsou zavedeny vertikální oscilace, aby se zabránilo přilnutí ingotu ke stěnám formy během lití. Jakmile povrch kovu dosáhne specifikované výšky, je ingot spolu s koncem formy vytažen strojem [1].



Obr. 1: Proces kontinuálního lití: primární a sekundární chladicí zóna

V tomto bodě se ingot přesouvá do sekundární chladicí zóny (6) (**obr. 1**), která se nachází pod formou. V této části probíhá chlazení ingotu, což umožňuje prodloužení procesu solidifikace směrem k jádru a zajišťuje úplnou solidifikaci po opuštění zóny. Konstrukce sekundární chladicí zóny umožňuje rovnoměrné rozložení vody po všech površích ingotu pomocí postřikovacích trysek. Celý proces je zajištěn několika sekundárními chladicími zónami, které se liší délkou a mají odlišné průtoky vody z trysek. Tyto variace jsou podrobně uvedeny v modelu. Cíle sekundární chladicí zóny jsou následující:

- Odstranit teplo ze solidifikujícího pramene.
- Zajistit optimální povrchovou teplotu, která je nezbytná pro dosažení požadované kvality povrchu.
- Usnadnit chlazení podporujících válečků pramene aplikací postřikové vody.

V počátečních fázích kontinuálního lití byl sekundární chladicí systém využíván pouze s vodními tryskami. Následně byla do technologie kontinuálního lití zavedena smíšená soustava, která kombinuje vodu a vzduch dodávaný prostřednictvím vysokotlakých trysek. Tato inovace produkuje jemnější kapky vody a širší úhel postřiku, což umožňuje rovnoměrnější distribuci vody. Menší velikost částic zvyšuje koeficienty přenosu tepla, čímž se zlepšuje celková účinnost chlazení [2].

2. Metodologie

2.1 Fyzikální teoretické základy primárních a sekundárních chladicích zón

Primární a sekundární chlazení v kontinuálním lití zahrnuje kombinaci faktorů, které usnadňují odstraňování tepla prostřednictvím radiace, konvekce a vedení. Během primárního chlazení se vnější plášť tavené oceli solidifikuje v měděné formě chlazené vodou (4) (**obr. 1**). Pro stanovení kapacity chlazení formy za stacionárních podmínek je nutné znát počáteční a konečné teploty chladicí vody spolu s jejím průtokem. Vypočtená hodnota tepelného toku je následně aplikována v dvourozměrném numerickém modelu čtvercového ingotu o délce strany 120 mm (vyráběného ve společnosti Khan Steel Mill) podle následující rovnice [3]:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_{\mathrm{p}} \times \Delta T, \qquad (1)$$

kde $\dot{Q}$ představuje celkový chladicí výkon (W), $\dot{m}$ označuje průtokovou rychlost chladicí vody procházející úzkým prostorem mezi měděnou formou a ochranným pláštěm $kg \cdot s^{-1}$, kde C_p je měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku ($J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$), a ΔT označuje teplotní rozdíl nebo nárůst teploty (°C). Pro určení konstantního tepelného toku přes měděnou formu do chladicí vody je nezbytné znát plochu A kontaktní plochy. Tato plocha se rozprostírá od úrovně menisku až na dno formy. Tepelný tok lze následně vypočítat podle následujícího vzorce:

$$q = \frac{\dot{Q}}{A}. \quad (2)$$

Sekundární chladicí zóna se vyznačuje složitým procesem, který zahrnuje různé rychlosti chlazení, místní koeficienty přenosu tepla a složité okrajové podmínky. Okrajové podmínky pro sekundární chladicí zónu jsou vysvětleny následovně:

- Konduktivní okrajové podmínky

Konduktivní přenos tepla probíhá mezi pramenem a podpůrným válečkem pramene. Konduktivní okrajová podmínka se vztahuje na to, jak teplo prochází materiálem. Pro solidifikovaný nebo částečně solidifikovaný pramen lze konduktivní přenos tepla popsat Fourierovým zákonem:

$$q_{con} = -k \times \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (3)$$

kde q_{con} je konduktivní tepelný tok (W·m^{-2}), k je tepelná vodivost materiálu (W·m^{-1}·K^{-1}) a $\frac{\partial T}{\partial n}$ je teplotní gradient kolmo k hranici (K·m^{-1}).

- Konvekční okrajová podmínka

Konvekční přenos tepla v sekundární chladicí zóně probíhá na povrchu pramene a vody z trysek. Konvekční okrajová podmínka je dána následujícím vzorcem:

$$q_{conv} = h \times A \times (T_s - T_a), \quad (4)$$

kde q_{conv} je rychlost přenosu tepla konvekcí (W), h je koeficient přenosu tepla konvekcí (W·m^{-2}·K^{-1}), T_s je povrchová teplota pramene (K) a T_a je teplota chladicí vody (K).

- Radiativní okrajová podmínka

Radiativní přenos tepla je významný při vysokých teplotách a probíhá mezi povrchem pramene a jeho okolím. Radiativní tepelný tok lze popsat pomocí Stefan-Boltzmannova zákona:

$$q_{rad} = \in \times \sigma \times A \times (T_s^4 - T_{inv}^4), \quad (5)$$

kde q_{rad} je rychlost radiativního přenosu tepla (W), ϵ je emisivita litinového materiálu, σ je Stefan-Boltzmannova konstanta (5,67×10^{-8} W·m^{-2}·K^{-4}), a T_{inv} je teplota okolního prostředí (K).

- Kombinované okrajové podmínky

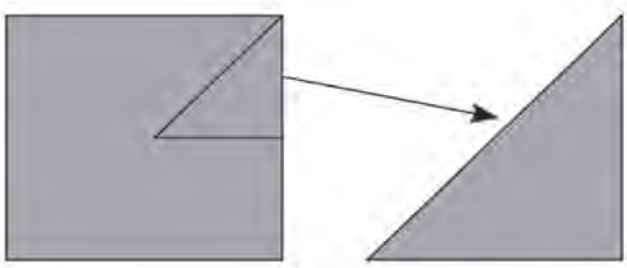
V praxi často okrajová podmínka na povrchu pramene zahrnuje kombinaci kondukce, konvekce a radiace. Pro obecnou hranici přenosu tepla může být kombinovaná okrajová podmínka napsána následovně:

$$-q = k \times \frac{\partial T}{\partial n} = h \times (T_S - T_a) + \in \times \sigma (T_s^4 - T_{inv}^4), \quad (6)$$

kde q je celkový tepelný tok (W·m^{-2}) [3].

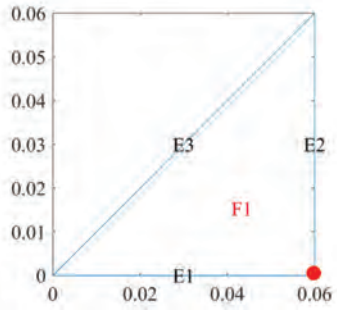
3. Simulace primární a sekundární chladicí zóny pomocí PDE Toolbox v MATLAB

Pomocí Partial Differential Equation Toolbox™ jsme vytvořili dvourozměrný numerický model průřezu čtvercového ingotu. Existují dva přístupy k vytvoření tepelného modelu: využití specializovaného grafického uživatelského rozhraní (GUI) nebo použití funkcí toolboxu. GUI lze otevřít zadáním „pdetool“ do příkazového okna, po němž lze z nabídky „Možnosti“ vybrat aplikaci pro přenos tepla. Vzhledem k symetrii průřezu čtvercového ocelového ingotu i aplikovaných okrajových podmínek je dvourozměrná geometrie s 1/8 symetrií vhodným zastoupením pro tento problém (**obr. 2**). Tento přístup zkracuje výpočetní čas a minimalizuje počet oblastí, na které je nutné aplikovat okrajové podmínky [4].

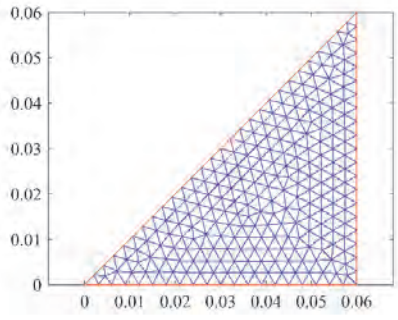


Obr. 2: Dvourozměrná výpočetní doména

Pro vytvoření dvourozměrného modelu představujícího 1/8 čtvercového ingotu o rozměrech (120 × 120) mm se používá funkce „decsg“ ve spojení s definováním souřadnic trojúhelníků. Tato funkce, dostupná v PDE Toolbox™, dekomponuje konstrukční geometrickou hmotu na minimální oblasti. Výsledná geometrie, spolu s označenými plochami a hranami, je zobrazena na **obr. 3a**.



a: Hrany a označení trojúhelníkové definiční domény



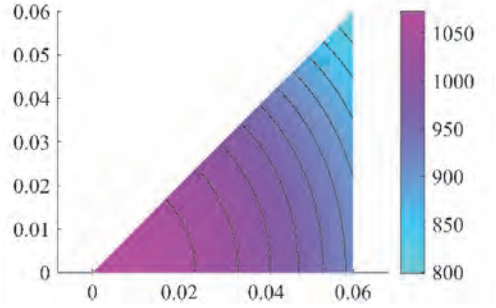
b: Mřížka konečných prvků

Obr. 3: Ilustrace geometrie výpočetní domény a mřížky

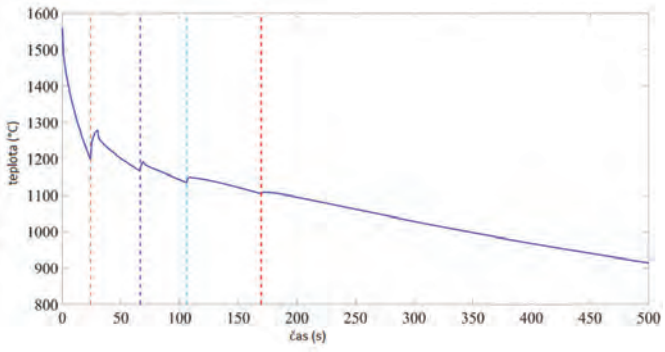
Tento model je připraven pro simulaci chladicích procesů (**obr. 3b**) v primární, sekundární a terciární chladicí zóně procesu kontinuálního lití. Simulace přenosu tepla pro tento proces byly provedeny pomocí softwaru MATLAB®, který poskytuje grafická rozhraní pro výpočty v čase, vstup parametrů a výstup výsledků.

3.1 Výsledky a diskuse

Parametry pro strukturu kontinuálního lití a sekundární chladicí proces použité v tomto modelu jsou získány ze společnosti Khan Steel Mill. Rychlost lití je nastavena na 1,98 m/min a počáteční teplota tavené oceli na úrovni menisku formy (teplota nalévání) je specifikována. Rozložení teploty výpočetní domény v konečném časovém kroku je znázorněno na **obr. 4a**.



a: Rozložení teploty



b: Teplota v uzlu [0.06, 0] (červený bod)

Obr. 4: Vývoj a rozložení teploty daného modelu, specifikace v konkrétním uzlu

Výpočet je prováděn rychle (v řádu sekund) pomocí vestavěných řídkých solverů v MATLAB®. Vývoj teploty v uzlu [0.06, 0] na povrchu je znázorněn na **obr. 4b**. Bylo zjištěno, že dochází k přehřívání za formou a v každé sekundární chladicí zóně. Tento jev je přičítán mezerám mezi postřikovacími sekcemi. Tyto mezery jsou nadměrné a mohou vést k vnitřním prasklinám v oblasti lití. Aby se zajistilo správné ohýbání a vyrovnávání ocelového materiálu v oblasti austenitu, měla by být konečná teplota dostatečně vysoká (900 až 1 000) °C, jak je uvedeno v diagramu Fe – C.

Závěr

Závěrem příspěvku je důležité zmínit význam přesného zabezpečení teploty v procesu kontinuálního lití, zejména v primárních a sekundárních chladicích zónách. Prostřednictvím pokročilých tepelných simulací experiment ukazuje, jak může přesné modelování přenosu tepla optimalizovat chladicí strategie, zlepšit kvalitu výrobků a minimalizovat vady odlitků. Integrace modelování založeného na fyzikálních principech a nástrojů MATLAB® nabízí spolehlivou metodu pro predikci rozložení teplot a zajištění metrologické přesnosti, v návaznosti na jednotku soustavy SI, kterou je termodynamická teplota [5; 6]. Zabezpečení správných měřidel a měřicí techniky je velmi důležité pro správné a spolehlivé technologické procesy, jelikož uvedené se může projevovat jako rušivý vliv nebo chyba při sledování procesu lití [7]. Optimalizací chladicích procesů se snižuje pravděpodobnost vzniku vad, jako jsou vnitřní praskliny, což přispívá k celkové efektivitě a kvalitě operací kontinuálního lití.

Literární zdroje

[1] Q. HE, Z. SU, Z. XIE, Z. ZHONG & Q. YAO, „A Novel Principle for Molten Steel Level Measurement in Tundish by Using Temperature Gradient“ in IEEE Transactions on *Instrumentation and Measurement*, vol. 66, no. 7, pp. 1809-1819, July 2017,

[2] RAMIREZ, Adan & AGUILAR-LÓPEZ, Ricardo & PALOMAR, Manuel & ROMERO-ROMO, Mario & MUÑOZ, David. (2010). Simulation of heat transfer in steel billets during continuous casting. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. 17. 403-416. 10.1007/s12613-010-0333-5.

[3] ZHAO, Yan & CHEN, D.F. & LONG, M.J. & SHEN, Jialong & QIN, Rongshan. (2014). Two-dimensional heat transfer model for secondary cooling of continuously cast beam blanks. *Ironmaking & Steelmaking*. 41. 377.

[4] *Partial Differential Equation Toolbox reference manual*, MATLAB®.

[5] KELEMENOVÁ, T. & DOVICA, M. *Kalibrácia meradiel*. 1. vydanie. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2016. 232 s. ISBN 978-80-553-3069-3.

[6] CHUDÝ, V. & PALENČÁR, R. & KUREKOVÁ, E. & HALAJ, M. *Meranie technických veličín*. Bratislava: STU v Bratislave, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.

[7] VLNKA, J. & GROSINGER, P. & RYBÁŘ, J. *Elektronika v meracej technike*. 1. vyd. Bratislava: Spektrum STU, 2022. 226 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-5241-1.

♦ ♦ ♦

Upozornění

V čísle 3/2024, str. 9, v článku ing. Vyskočila došlo k chybnému zápisu vztahu (1) a (2).

Oprava:

$$\kappa = w + az + bz^2 + c\ln(z) \quad (1)$$

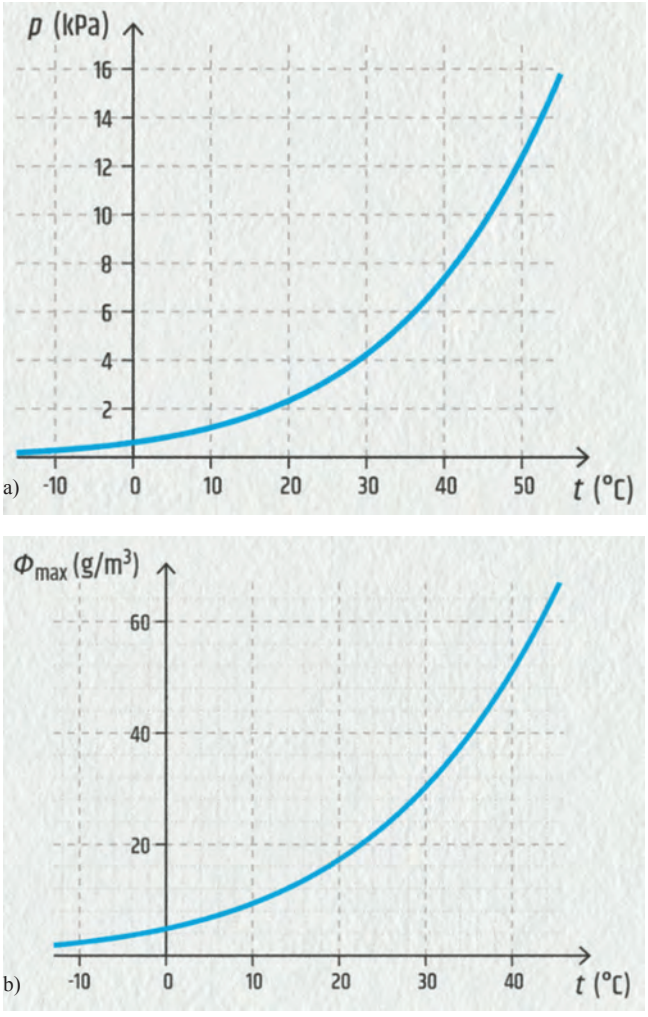
$$\kappa = az + bz^2 + c\ln(z) \quad (2)$$

MĚŘENÍ VLHKOSTI VZDUCHU V KLIMATICKÝCH KOMORÁCH ZA VYŠŠÍCH TEPLOT

Ing. Josef Vojtíšek
Český metrologický institut

1. Úvod

Nejčastějším generátorem vlhkosti, který používají kalibrační a zkušební laboratoře, jsou klimatické komory. Tato zařízení také patří mezi nejčastěji zkoušené objekty, u kterých proměřujeme jejich parametry z hlediska relativní vlhkosti vzduchu (dále RH) a teploty. V rámci akreditované činnosti kalibračních laboratoří se pro měření v klimatických komorách používají různé typy měřidel RH.



Obr. 1 a, b): Závislost tlaku nasycené vodní páry a absolutní vlhkosti na teplotě (https://e-manuel.cz/kapitoly/plyny/vyklad/voda-v-atmosfere/)

V přílohách Osvědčení o akreditaci těchto subjektů se obvykle dozvíme jednoznačné určení měřeného rozsahu RH. Horší je situace ohledně jasné definice teplotního rozsahu měření ve vazbě na měřenou RH. Text článku naznačuje komplikované závislosti RH na teplotě, ze kterých současně vyplývá vhodnost výběru použitých měřidel RH. Z ekonomických důvodů bývá kalibrace měřidel prováděna nejčastěji pouze při teplotě okolí v rozmezí (20 až 25) °C. Klimatické komory ale generují RH v rozsahu teplot (10 až 95) °C a uvedená kalibrace je díky tomu nedostatečná. Neříká totiž nic o závislosti použitého měřidla RH na teplotě v komoře. Článek se nezabývá speciálním měření RH při záporných teplotách nebo teplotách vyšších než 100 °C.

Několik slov úvodem. Vzduch nebo jakýkoli jiný plyn mají schopnost absorbovat vodní páru. Schopnost absorpce závisí především na teplotě. Obecně lze říci, že čím je vzduch teplejší, tím více vodní páry pojme. Množství vodní páry v g/m^3 (tzv. absolutní vlhkost vzduchu), které je ve vzduchu obsaženo, je tedy v definovaném objemu limitováno. Obě závislosti jsou uvedeny na **obr. 1.**

Mezi teplotou vzduchu a tlakem nasycené vodní páry existuje významná závislost. Při pokojové teplotě se kapacita nasycení vzduchu vodní párou zdvojnásobí s každým zvýšením teploty o 10 °C. Jak je patrné z **obr. 1**, nejde o lineární závislost. Při 80 °C se tlak nasycených par zdvojnásobí po zvýšení teploty pouze o 5 °C, naopak při -60 °C se tlak nasycených par zdvojnásobí při zvýšení teploty o 20 °C. Relativní vlhkost vzduchu je definována jako:

$$RH\,(\%) = (e / e_S) \times 100 \qquad (1)$$

e (Pa) … tlak vodní páry při teplotě t
e_S (Pa) … tlak nasycené vodní páry při teplotě t

Tlak vodních par je ve vzorci zastoupen dvakrát, z toho je zřejmé, že závislost RH na teplotě je extrémní. **Tab. 1** demonstruje vliv změny teploty o ±1 °C při různých úrovních teploty a relativní vlhkosti.

Pro nejistotu měření přibližně platí obecné pravidlo, že nejistota ±1 °C teploty rosného bodu nebo teploty vzduchu vede k nejistotě ±6 % **hodnoty** relativní vlhkosti (pozor – nezaměnit se 6 % RH).

Při měření klimatických komor se nejčastěji používají tři způsoby určování RH:

- měření teploty rosného bodu a následné určení RH,
- psychrometrické měření RH,
- měření RH pomocí impedančních (kapacitních) snímačů RH.

Tabulka 1: Vliv změny teploty o ±1 °C na změnu RH (podle L [1])

Relative humidity	Temperature 10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
10% RH	±0.7% RH	±0.6% RH	±0.6% RH	±0.6% RH	±0.5% RH	±0.5% RH
50% RH	±3.5% RH	±3.2% RH	±3.0% RH	±3.0% RH	±2.6% RH	±2.3% RH
90% RH	±6.3% RH	±5.7% RH	±5.7% RH	±5.4% RH	±4.6% RH	±4.1% RH

Budeme se zabývat závislostí RH na teplotě u těchto tří způsobů měření.

2. Měření teploty rosného bodu, rosnobodové vlhkoměry

Teplota rosného bodu je teplota, při které by se tlak vodních par rovnal tlaku nasycených vodních par. Jedná se o teplotu, při které vlhkost obsažená ve vzduchu kondenzuje vlivem teploty. Rosný bod je tedy teplota, pod kterou vodní pára v daném vzduchu při konstantním tlaku kondenzuje na kapalnou vodu. Je to teplota, při které je vzduch pro určitou teplotu nasycen vlhkostí. Neovlivňuje ji změna tlaku plynu, ale výrazně se mění při změně teploty nebo množství vodní páry ve vzduchu.

Rosnobodový vlhkoměr detekuje teplotu rosného bodu vzduchu ochlazením povrchu, který je v kontaktu se vzduchem, na teplotu rosného bodu. Vlhkoměry ochlazují zlacenou plochu zrcátka pomocí Peltierova chlazení. Fotobuňka snímá rozptyl světla na lesklé ploše zrcátka, který se výrazně mění při vzniku kapiček vody na povrchu. Důležité je přesné měření povrchové teploty v okamžiku vzniku první kapky, což je teoretická teplota rosného bodu, která se ale velmi obtížně detekuje. Ideální stav pro měření je rovnoměrná vrstvička malých kapiček vody nebo krystalků ledu po celém povrchu zrcátka. Teplota je snímána miniaturním odporovým teploměrem zapuštěným pod povrchem zrcátka. Rozsah vlhkoměrů rosného bodu závisí na teplotním rozsahu chlazeného povrchu. V zásadě lze pokrýt teplotní rozsah vzduchu od –90 °C do +100 °C. Vlhkoměr rosného bodu je považován za nejpřesnější přístroj pro měření vlhkosti vzduchu. Při vhodné kalibraci může být nejistota měření RH kolem ±0,5 % RH. Teplotu rosného bodu měříme přesněji u kladných hodnot, nízké teploty hluboko pod bodem mrazu (bod ojínění) jsou choulostivější na možné zdroje chyb. Typickými zdroji chyb jsou povrchová kontaminace zrcátka, možnost zaplavení zrcátka, obsah plynů rozpouštějících se ve vodě nebo nedostatečná homogenita chlazení povrchu zrcátka. Dynamická odezva vlhkoměru je pomalá a nezvládá rychlé výkyvy teploty nebo vlhkosti. Rosnobodové vlhkoměry jsou ideální pro měření dokonale ustálených stavů teploty a RH. Celkově je vlhkoměr rosného bodu spolehlivým základním přístrojem, který se obvykle používá jako etalonové měřidlo pro mnoho aplikací. Základní nevýhodou je jeho podstatně vyšší cena oproti jiným přístrojům na měření vlhkosti.

Obr. 2: Rosnobodový vlhkoměr MICHELL

Rosnobodový vlhkoměr obsahuje vždy dva snímače – snímač teploty vzduchu a snímač teploty rosného bodu. Indikační jednotka měří tyto dvě teploty a zobrazuje i ostatní parametry vlhkého vzduchu, příp. barometrický tlak. Měřené jsou obě zmíněné teploty, ostatní hodnoty jsou vypočteny implementovaným SW přístroje. Jestliže chceme tento vlhkoměr používat pro měření celého rozsahu klimatické komory, příp. ho používat pro zajištění návaznosti jiných vlhkoměrů ve stejném rozsahu, měli bychom zajistit odpovídající návaznost obou teplot.

Pro klimatické komory to znamená kalibraci teplotního snímače v rozsahu (0 až 100) °C a snímače teploty rosného bodu v rozsahu alespoň (-20 až 90) °C. Při měření nás zajímá relativní vlhkost, proto musíme mít k dispozici nástroj, pomocí kterého ji určíme ze změřených teplot. Můžeme použít některý z kalkulátorů vlhkosti, které najdeme na internetu, ale doporučuji používat kalkulátory renomovaných výrobců měřidel vlhkosti (Rotronic, Vaisala, Michell). Výpočet nám současně umožní kontrolu přepočtu na indikační jednotce vlhkoměru. Pro přepočet existuje řada empirických vztahů. Prověřeným výpočtem je např. určování RH dle L [15]:

$$RH = 100 \cdot 10^{m\left(\frac{t_D}{t_D+T_n} - \frac{t}{t+T_n}\right)} \qquad (2)$$

kde t_D je teplota rosného bodu (°C) a t je teplota vzduchu (°C). Zbývající konstanty vyplývají z tabulky 2 a jsou závislé na měřené teplotě (tabulka je určena i pro psychrometry). V tabulce je také uvedena max. chyba, kterou daný výpočet umožňuje. Provedl jsem kontrolní výpočty a jejich porovnání s údaji dle kalkulátoru vlhkosti fy Rotronic. Max. chyby skutečně nebyly překročeny. Pro teploty klimakomor do 100 °C je zřejmé, že chyba přepočtu je prakticky zanedbatelná.

Tabulka 2*:* Koeficienty pro výpočet RH dle vzorce 2 podle L [15]

	A	m	Tn	max error	Temperature range
water	6.116441	7.591386	240.7263	0.083%	-20...+50°C
	6.004918	7.337936	229.3975	0.017%	+50...+100°C
	5.856548	7.27731	225.1033	0.003%	+100...+150°C
	6.002859	7.290361	227.1704	0.007%	+150...+200°C
	9.980622	7.388931	263.1239	0.395%	+200...+350°C
	6.089613	7.33502	230.3921	0.368%	0...+200°C
ice	6.114742	9.778707	273.1466	0.052%	-70...0°C

Při výpočtu nejistot měření potřebujeme přepočítat nejistotu měření teplot na nejistotu RH pomocí citlivostních koeficientů. Stanovením těchto koeficientů i jejich odvozením se zabývá L [16]. Pro citlivostní koeficient $\boldsymbol{t_D}$ platí:

$$\frac{\delta RH}{\delta t_D} = RH \cdot \frac{a \cdot b}{\left(b + t_D\right)^2} \qquad (3)$$

Pro citlivostní koeficient $\boldsymbol{t}$ platí:

$$\frac{\delta RH}{\delta t} = -RH \cdot \frac{a \cdot b}{\left(b + t\right)^2} \qquad (4)$$

Hodnoty konstant uvedených vzorců jsou následující:
a = 17,62 pro $t \geq 0$ °C; a = 22,46 pro $t < 0$ °C;
b = 243,12 °C pro $t \geq 0$ °C; b = 272,62 °C pro $t < 0$ °C.

Z předchozího textu je patrné, že rosnobodový vlhkoměr je ideálním měřidlem pro přesné měření v klimakomorách i za vyšších teplot.

Při použití **rosnobodového** vlhkoměru musíme uvažovat následující zdroje nejistoty:
- nestabilita údaje etalonu (je zahrnuta v nejistotě typu A za podmínky dostatečného počtu odečtů),
- nejistota etalonu z kalibračního listu (týká se jak nejistoty měření rosného bodu, tak nejistoty měření teploty),
- rozlišení údaje etalonu (pokud již není zahrnuto v nejistotě z kalibračního listu) nebo skutečnou citlivost (jestliže je větší než rozlišení údaje),
- nejistotu výpočtu RH z teploty vzduchu a rosného bodu.

Správná činnost rosnobodového vlhkoměru předpokládá nulový přenos hmoty mezi zkondenzovanou a parní fází vody. Na povrchu zrcátka vzniká několik fázových rozhraní (zrcátko, kondenzát, plyn a jeho prostředí), na kterých dochází ke všem způsobům přenosu tepla – konvekce, kondukce i záření. Může tak vzniknout nerovnovážný stav, kdy správný odečet závisí i na zkušenosti operátora. Tento stav výrazně zhoršují nečistoty na zrcátku, jak bylo zmíněno. Chyby při měření rosnobodovým vlhkoměrem lze tedy rozdělit následovně:

Chyby měření teploty:
- chyba měření odporu (t_D je obvykle měřena nepatrným odporovým teploměrem Pt 100 zabudovaným pod povrchem zrcátka),
- chyba v přepočtu odporu na teplotu (obvykle je zahrnut vztah pro přepočet podle normy, ale skutečné vlastnosti senzoru nemusí normě odpovídat),
- rozdíl teploty mezi místem měření a povrchem zrcátka, na kterém je udržován rovnovážný stav (vliv přenosu tepla mezi kondenzátem a zrcátkem, přenosu tepla mezi zrcátkem a hmotou snímače, vliv tepla produkovaného snímačem atd.),
- pro samoohřev odporového teploměru rosnobodového vlhkoměru se neuplatňuje žádná korekce, protože byl kalibrován na vzduchu, tedy v podobných podmínkách, v jakých se používá. Snímač teploty vzduchu bývá kalibrován v kapalném termostatu, v tom případě musíme respektovat vliv samoohřevu.

Chyby realizace rosného bodu:

Základní otázkou je stabilita rosného bodu při měření, tj. do jaké míry lze dosáhnout opakovatelnosti odečtu. Odečet je totiž ovlivněn nehomogenitou tloušťky kondenzátu, rozdíly v emisivitě povrchu zrcátka a kondenzátu (vliv na optický odečet), různými typy ledového kondenzátu s různou povrchovou energií apod. Tyto vlivy mohou být větší než stabilita regulačního obvodu zrcátka, která udržuje rovnováhu kondenzátu. Opakovatelnost odečtu tedy není zcela zaručena. Jak při kalibraci rosnobodového teploměru, tak při jeho používání by tedy měl být prováděn dostatečný počet opakovaných nezávislých odečtů.

3. Psychrometrické měření RH

Psychrometrem měříme také dvě teploty podobně jako u předchozího způsobu měření. Jedná se o určování tzv. suché teploty t_s, tedy teploty vzduchu a tzv. mokré (vlhké) teploty t_w, která je měřena stejným typem teploměru, na který je navlečena punčoška trvale zvlhčovaná vodou. Na vlhkém povrchu punčošky dochází k odparu vody a t_w představuje nejnižší možnou teplotu, kterou lze při teplotě vzduchu t_s dosáhnout odpařováním. Hodnotu RH můžeme určit pomocí tzv. psychrometrické rovnice:

$$p_w = p_{ws} - A \cdot p \cdot (t_s - t_w) \tag{5}$$

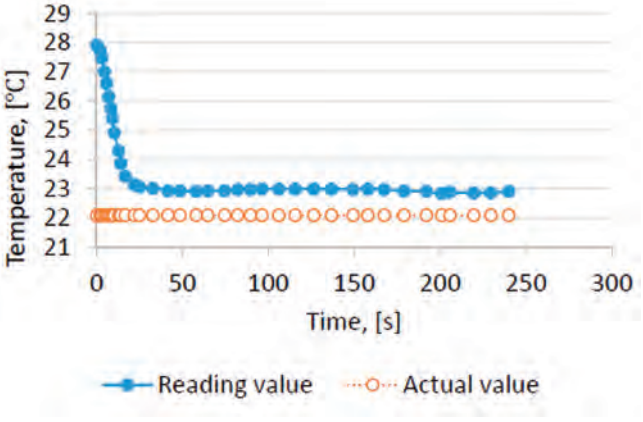
a následně vztahu:

$$RH = \frac{p_w}{p_{ws}} \cdot 100 \tag{6}$$

kde A je psychrometrická konstanta (nejčastěji uváděná jako 662.10^{-6} K^{-1}), p_{ws} je parciální tlak nasycené páry při teplotě mokrého teploměru (Pa), p_w je parciální tlak vodních par ve vzduchu (Pa) a p je statický tlak vzduchu v místě měření (Pa). Prvním problémem výpočtu je hodnota psychrometrické konstanty, která konstantou není. Podle L [9] se její hodnota pohybuje v rozmezí (6,4 až 6,8) x 10^{-4} K^{-1}. Navíc jsou psychrometrické rovnice používány v různých tvarech a úpravách. L [9] uvádí např. následující přehled:

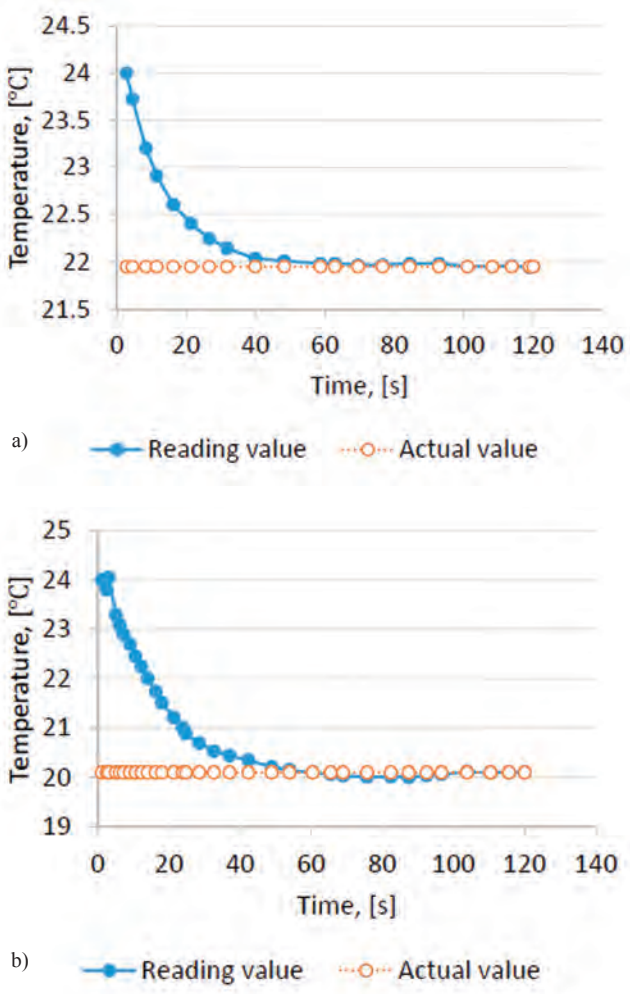
1	Penman equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.0664 \times (T_d - T_w)$
2	Goft-Cratch equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.067193 \times (T_d - T_w)$
3	British United Turkeys (BUT) equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.066 \times (T_d - T_w)$
4	Harrison equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.067 \times (1 + 0.00115T_w) \times (T_d - T_w)$
5	World meteorological Organisation (WMO) equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.0662795 \times (1 + 0.000944T_w) \times (T_d - T_w)$
6	Nevia et al. equation $P_w = P_{ws}(T_w) - 0.0647164 \times (1 + 0.00504T_w) \times (T_d - T_w)$

Obr. 3: Používané empirické vztahy psychrometrické rovnice dle L [9]

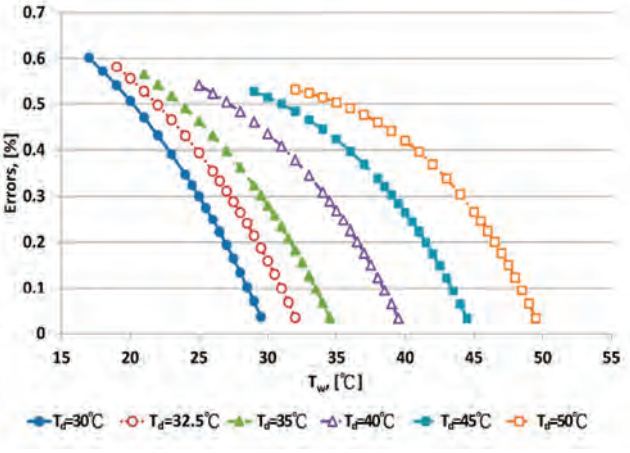


Obr. 4: Ustálení t_w při rychlosti proudění 1 m/s

Na **obr. 3** je použito jiné označení pro identické veličiny a psychrometrická konstanta je rozšířena standardním barometrickým tlakem p = 101,325 kPa. Na správnost výpočtu podle psychrometrické rovnice má významný vliv rychlost proudění vzduchu psychrometrem. Vliv proudění, který se projeví především na t_w, je uveden v L [9], odkud jsou převzaty **obr. 4** a **5**:



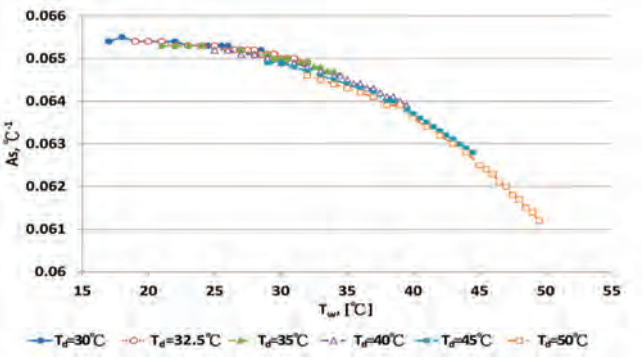
Obr. 5: Ustálení t_w při rychlosti proudění 3 m/s (nahoře) a 5 m/s



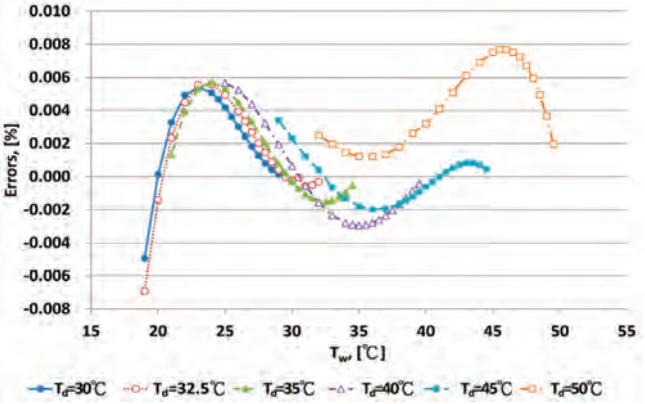
Obr. 6: Velikost chyby měření RH v závislosti na poměru t_s (označeno T_d) a t_w dle L [9]

Při rychlosti proudění 1 m/s je rozdíl mezi měřenou a aktuální teplotou t_w 0,8 °C, rozdíl postupně klesá a relevantní měření nastává od rychlosti ≥ 3 m/s. L [9] se také zabývá určení chyb pro rovnice uvedené na **obr. 3**. Na příkladu páté rovnice WMO si můžeme ukázat průběh chyb měření RH při proměnných teplotách suchého a mokrého teploměru (**obr. 6**):

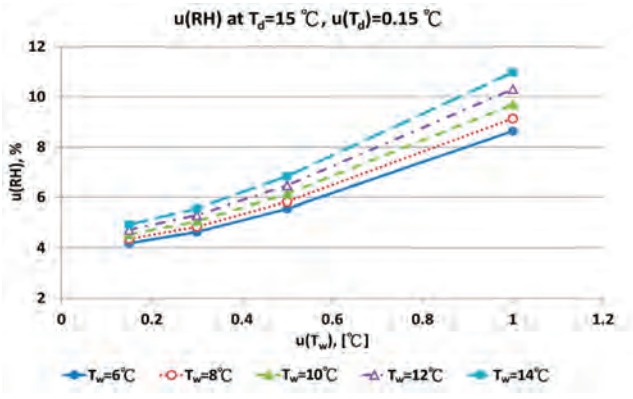
Z **obr. 6** je zřejmé, že když se stav vzduchu blíží plné saturaci (obě teploty mají podobnou velikost), zmenšuje se také chyba měření. Jak je vidět z **obr. 3**, v empirických vztazích figurují různé hodnoty psychrometrické konstanty. Autoři L [9] se pokusili stanovit velikost A_s (K^{-1}) tak, aby chyba měření byla co nejmenší. Grafické vyjádření závislosti A_s pro vyšší teploty je zobrazeno na **obr. 7**. Autoři L [9] se zabývali také velikostí chyby měření RH pro stanovenou velikost A_s. Pro vyšší teploty je zpracován graf podle **obr. 8**. Největší vliv na měření psychrometru má nejistota měření obou teploměrů. L [9] se zabývá i závislostí mezi nejistotou měření suchého a mokrého teploměru a jejich vlivem na nejistotu měření RH jak pro nízké, tak pro vyšší teploty. Pro příklad uvádím dva grafy podle L [9] na **obr. 9** a **obr. 10**. Z výsledků je zřejmé, že výrazně horší nejistotou měření je zatíženo psychrometrické měření RH při nízkých teplotách. Nejistotu měření RH lze významně ovlivnit co nejlepší nejistotou kalibrace obou teploměrů psychrometru. Ve výpočtu nejistot dle L [9] jsou započteny pouze nejistoty měřených veličin a psychrometrická konstanta je uvažována konstantní. Reálný výpočet nejistot musí pracovat i s dalšími zdroji, jako je drift měřidla, homogenita a stabilita prostředí, dynamické vlastnosti měřidel atd.



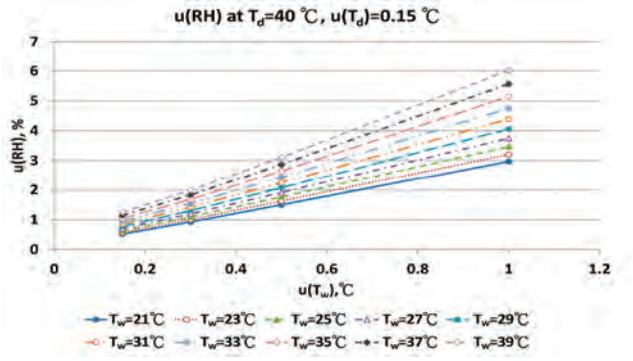
Obr. 7: Závislost mezi A_s a t_w pro teplotu T_d větší než 30 °C podle L [9]



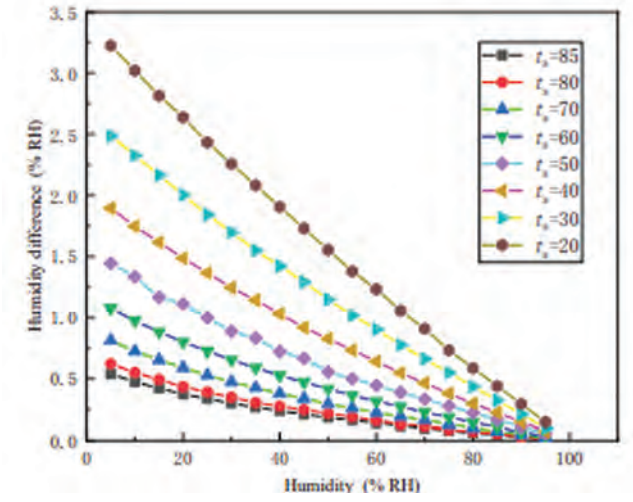
Obr. 8: Chyba výpočtu RH pro vypočtenou konstantu A_s pro T_d větší než 30 °C podle L [9]



Obr. 9: Nejistoty RH určené pro vypočtenou **As** pro T_d = 15 °C a nejistotu u_{Td} = 0,15 °C podle L [9]; rozsah nejistoty u_{Tw} = (0,1 až 1,0) °C



Obr. 10: Nejistoty RH určené pro A_S dle rovnice (7) pro T_d = 40 °C a nejistotu u_{Td} = 0,15 °C podle L [9]; rozsah nejistoty u_{Tw} = (0,1 až 1,0) °C

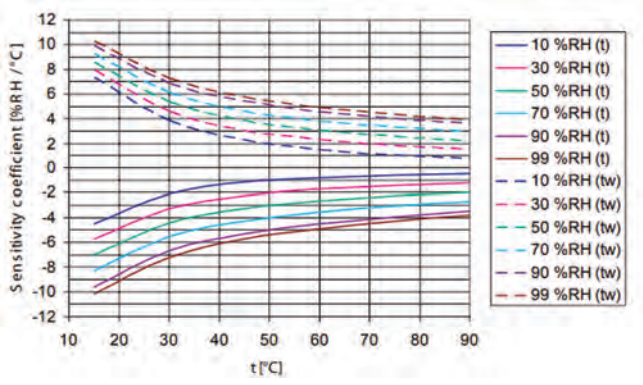


Obr. 11: Proměnlivost rozdílů RH vypočtených pomocí různých psychrometrických konstant v závislosti na různých teplotách vzduchu podle L [6]

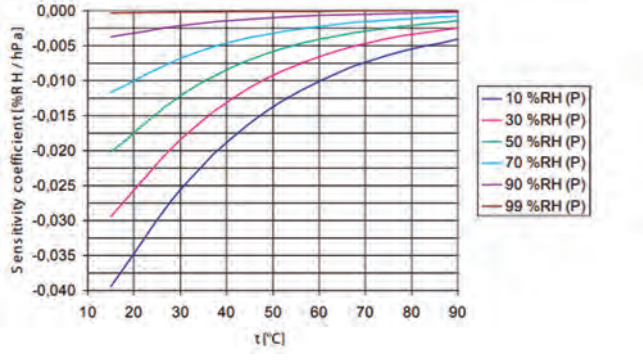
Vlivem rychlosti proudění na psychrometrickou konstantu a přesnost měření RH se zabývá také L [6]. Velikost rozdílů RH, které byly vypočteny pomocí různých psychrometrických konstant v závislosti na proměnlivých teplotách vzduchu, je zobrazena na **obr. 11**.

Z **obr. 11** je vidět, že při vysoké teplotě i RH je vlhkost měřená psychrometrem podstatně méně citlivá na rychlost proudění vzduchu. Když je např. relativní vlhkost 90 % RH a teplota vzduchu 85 °C, rozdíl RH vypočítaný pomocí různých psychrometrických konstant je 0,03 % RH. S poklesem teploty vzduchu a relativní vlhkosti se zvyšuje vliv proudění na měřenou hodnotu RH. Když je relativní vlhkost 20 % RH a teplota vzduchu 20 °C, rozdíl RH vypočítaný pomocí různých psychrometrických konstant je 2,64 % RH. Rozdílné výsledky měření psychrometrem ovlivní také způsob vlhčení punčošky mokrého teploměru, přičemž nejběžnější jsou tzv. „samovlhčení“ a „smáčením rozprašováním“. „Smáčení rozprašováním“ má za následek nižší hodnotu údaje RH než „samovlhčení“ ve stejném kalibračním bodě.

Shrnutí požadavků pro správné použití psychrometrů je uvedeno v L [12]. Použití psychrometrů je vázáno na dva předpoklady – musíme mít k dispozici dostatečné proudění vzduchu, a protože teplota mokrého teploměru vzniká odparem vody, musíme počítat s možným ovlivněním RH v prostředí, kde měříme. Nejčastější použití psychrometrů dnes najdeme v klimatických komorách, kde běžně pracují v testovacím rozsahu (10 až 98) %RH a (10 až 95) °C. Výsledek měření psychrometru je ovlivněn nejen nejistotou měření obou teplot, jak bylo uvedeno, ale také nejistotou měření barometrického tlaku. Tyto závislosti se obvykle vyjadřují citlivostními koeficienty. V L [12] je zobrazena závislost citlivostních koeficientů všech uvedených parametrů pro celý rozsah měřených teplot (**obr. 12** a **obr. 13**).



Obr. 12: Závislost citlivostního koeficientu pro mokrou (t_w) a suchou (t) teplotu podle L [12]



Obr. 13: Závislost citlivostního koeficientu na teplotě pro tlak vzduchu P podle L [12]

Z uvedených příkladů je zřejmé, že dokonalý popis vlastností psychrometrů je oproti rosnobodovým vlhkoměrům výrazně komplikovanější. Jejich vlastnosti při měření vyšších teplot / vlhkostí jsou lepší než při měření nízkých hodnot. Proto se někdy kombinuje měření psychrometrů s kapacitními snímači RH. Nejvýznamnější složky nejistoty při kalibraci psychrometrů jsou:

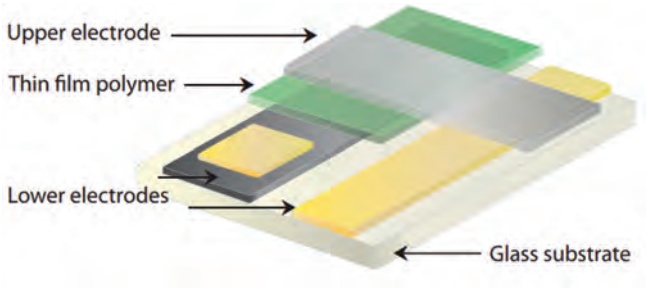
- nejistota měření obou teplot,
- nejistota měření rosného bodu při použití rosnobodového vlhkoměru jako etalonu,
- rozlišení měřených teplot psychrometru,
- krátkodobá stabilita psychrometru,
- čtení psychrometru (RH),
- vliv rychlosti proudění vzduchu,
- vliv zvoleného výpočtu RH z měřených teplot,
- reprodukovatelnost psychrometru (při znečištění knotu mokrého teploměru je hodnota RH obvykle vyšší než reference),
- vliv kalibrační komory (stabilita, homogenita),
- vliv měření barometrického tlaku (změny barometru mohou způsobit zvýšení nejistoty psychrometru až o ±1 %RH).

Při měření (kalibraci) je třeba dbát na správnou montáž punčošky. Díky nelinearitě psychrometru je stanovení nejistoty měření platné pouze pro předmětný kalibrační bod. Při psychrometrickém měření je nutné k nejistotě kalibrace zahrnout i dlouhodobý drift teploměrů včetně měřicí elektroniky, změny barometrického tlaku během měření a dbát na správnou montáž a čistotu punčošky mokrého teploměru. Vliv psychrometru při měření lze shrnout následovně:

- zvyšují nejistotu měření referenční teploty a teploty rosného bodu v klimatických komorách (vliv odpařování vody z knotu a tepelnou ztrátou energie ventilátoru psychrometru),
- uvedený vliv psychrometru závisí na velikosti komory, průtoku vzduchu v komoře a umístění referenční teplotní sondy komory,
- ideální je malý psychrometr se stabilním měřením teploty a vysokým rozlišením.

4. Kapacitní snímače vlhkosti

Konstrukci a princip kapacitního snímače RH můžeme objasnit na keramickém senzoru fy. Michell (viz L [1]), u kterého je výrobcem deklarována extrémně rychlá odezva, nízká hystereze a vysoká dlouhodobá stabilita (malý drift). Senzor velmi rychle reaguje na změny aplikované vlhkosti, a to jak při poklesu, tak při nárůstu vlhkosti. Činnost senzoru závisí na adsorpci vodní páry do porézního nevodivého dielektrika mezi dvěma vodivými deskami kondenzátoru na povrchu základního keramického substrátu. Aktivní vrstva dielektrika je velmi tenká – méně než jeden mikron. Porézní horní deska kondenzátoru, která umožňuje přenos vodní páry do senzoru, je přesně navržena podle standardů nanotechnologií. Její tloušťka je zlomek mikronu, aby bylo zajištěno přesné a opakovatelné měření.

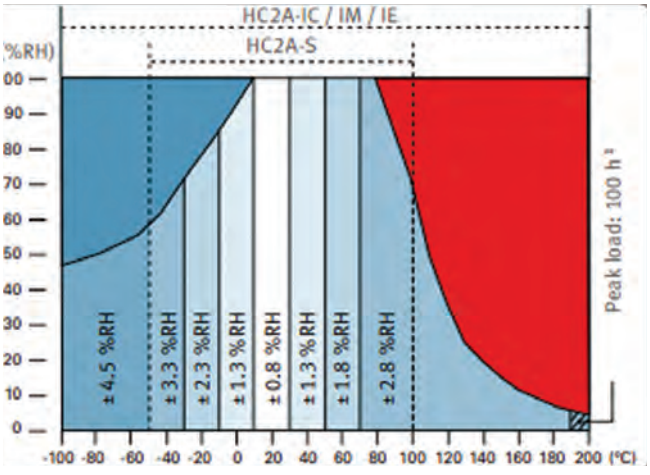


Obr. 14: Konstrukce kapacitního snímače RH dle L [1]

Vlastnosti polymerních senzorů jsou takové, že jejich kapacita se mění nejen při změně relativní vlhkosti, ale také při změně teploty. Kalibrace snímačů je obvykle prováděna při teplotě (20 až 25) °C. Při měření relativní vlhkosti při teplotě rozdílné od kalibrační neodpovídá měřená kapacita skutečné relativní vlhkosti. Musíme tedy nejen stanovit teplotní součinitel senzoru (K^{-1}), ale zajistit i jeho kompenzaci, protože není konstantní. Teplotní součinitel závisí také na konstrukci snímače, takže je pro každý snímač jiný, což může hrát roli při výměně snímače na stejném indikačním měřidle. Kompenzační součinitel je roven jedné pouze při výpočtové kalibrační teplotě.

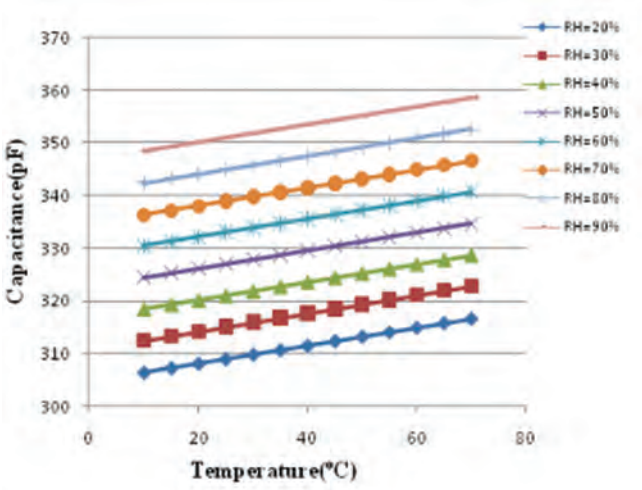
Do mikroprocesoru vlhkoměru je nutné vložit program, jehož algoritmus pracuje s okamžitou měřenou teplotou a relativní vlhkostí, typem senzoru a kalibrační teplotou. Teplotní součinitel lze zanedbat pouze v úzkém rozmezí okolo kalibrační teploty nebo v případě, že nepožadujeme přesné měření RH. Někteří výrobci uvádějí závislost přesnosti měření RH na měřeném teplotním rozsahu. Na **obr. 15** je ukázka takové závislosti z katalogového listu snímačů HC2 od firmy ROTRONIC. V každém případě se u těchto snímačů neobejdeme bez prověření kvality teplotní kompenzace, což znamená kalibraci RH při více teplotách.

Na katedře elektrotechniky Ústřední university v New Delhi (Indie) zkoumali vlastnosti kapacitních snímačů, jejichž dielektrikum bylo vyrobeno z různých materiálů, viz L [4]. Vliv materiálu dielektrika je patrný z následujících příkladů. Na **obr. 16** je zobrazena závislost kapacitního výstupu snímače s tenkým polymerním filmem, která je

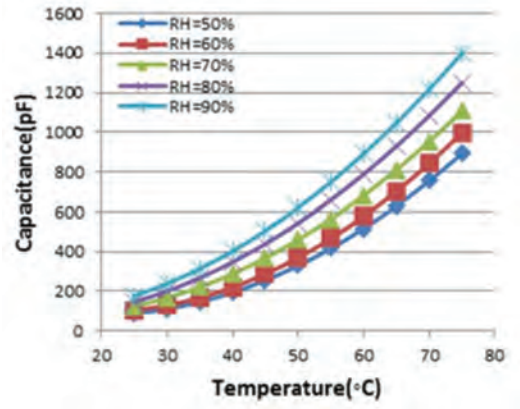


Obr. 15: Závislost přesnosti snímače HC2 ROTRONIC na teplotě a RH

prakticky lineární. Snímače, které používají např. nanopórezní dielektrický tenký film z oxidu hlinitého nebo jsou vyrobeny technologií MEMS, lineární odezvu nemají (MEMS = Micro-Electro-Mechanical System; technologie používá mechanické komponenty o velikosti nanočástic s téměř nulovou hmotností). Závislost je patrná z **obr. 17**.



Obr. 16: Kapacitní odezva polymerního snímače na změnu teploty podle [L4]

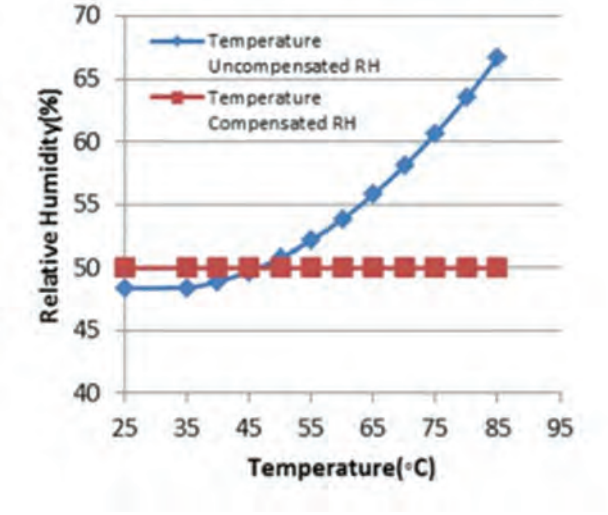


Obr. 17: Kapacitní odezva senzoru s nanopórezním filmem podle L [4]

Jak je uvedeno v L [4], pro lineární i nelineární teplotní kompenzaci snímačů byla použita technika ANN (Artificial Neural Networks – Umělé neuronové sítě náležející do AI). Jde o simulaci chování snímače pomocí výpočetního systému inspirovaného biologickými neuronovými sítěmi, které tvoří lidský mozek. Cílem je zajištění teplotně kompenzované vlhkosti v celém rozsahu měření tak, jak znázorňuje **obr. 18** pro RH 50 %. Teplotní kompenzace v celém rozsahu teploty i vlhkosti je zjevně komplikovaná, proto musíme pro použití nastavit kalibraci kapacitních snímačů tak, abychom mohli deklarovat co nejlepší nejistotu měření v celém rozsahu.

Teplotní závislost kapacitních snímačů je ovlivňována mnoha dalšími vlastnostmi těchto měřidel. L [5] uvádí např. následující vlastnosti:

– odezva snímače na RH v celém rozsahu měření není lineární, navíc mezi měřením při stoupající a klesající RH se projevuje hystereze,
– snímač vychází z předpokladu, že mezi množstvím vody v dielektriku a RH je konstantní závislost, ale u většiny hygroskopických materiálů se tato závislost mění s teplotou,
– dielektrická konstanta (dnes relativní permitivita) vody je při 20 °C okolo 80, při teplotě 0 °C ale stoupá o více než 8 % a při teplotě 100 °C naopak klesá o 30 %,
– dielektrická konstanta většiny dielektrických materiálů klesá s rostoucí teplotou (méně než u vody),
– jakákoliv délka připojovacího kabelu má svoji elektrickou kapacitu a odpor, elektronické obvody nedokáží rozlišit mezi snímačem a jeho kabelem.



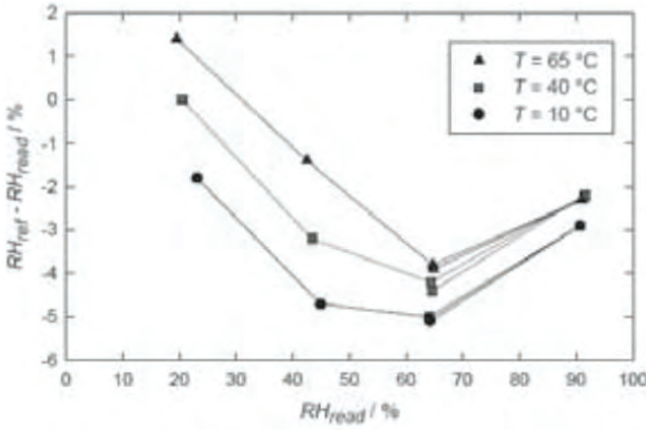
Obr. 18: Závislost teplotně nekompenzovaného a kompenzovaného výstupu kapacitního snímače RH při hodnotě 50 % RH podle L [4]

Vlastnosti snímače, především jeho hysterezi (kritérium opakovatelnosti) ovlivňují typy používaných měřicích cyklů, doba expozice snímače při jednotlivých nastavených RH a současně vliv teplotní zátěže, celková historie snímače apod. Hystereze se zvyšuje po časté zátěži snímače vysokou teplotou a vysokou RH, příp. častým střídáním podmínek. Proto je obtížné uvádět hysterezi výrobcem ve specifikaci snímače. V každém případě by měla být měřena. Do výpočtu nejistoty měření se uvažuje polovina maximální zjištěné hodnoty, nicméně opakovatelnost by neměla být uvažována menší než zjištěná max. hodnota hystereze.

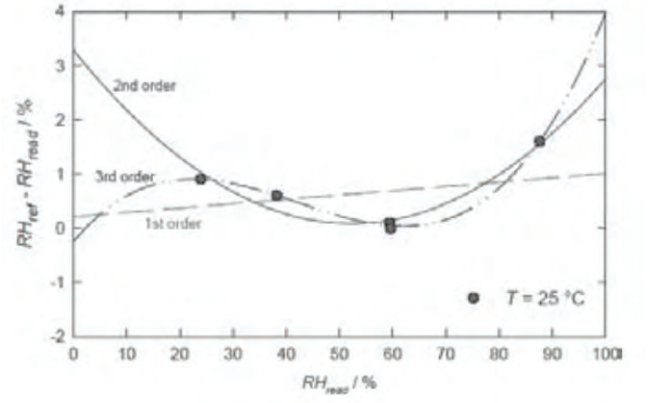
Zdroje chyb kapacitních snímačů lze popsat následovně:

– opakovatelnost, rozlišení údaje,
– krátkodobá stabilita, hystereze,
– **teplotní závislost,**
– nelinearita výstupu (interpolace mezikalibračních bodů),
– vliv teploty tělesa vlastního snímače, samoohřev snímače,
– vliv okolní teploty na indikační jednotku (pokud je významný),
– znečištění snímače,
– směr a rychlost proudění vzduchu (obvykle se neuvažuje),
– dlouhodobá stabilita (musí respektovat uživatel měřidla).

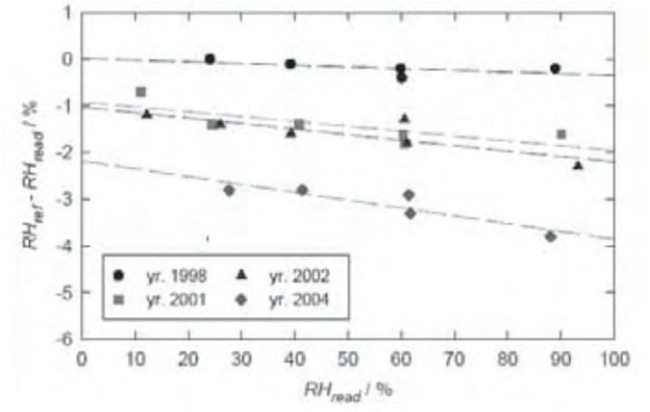
L [12] popisuje závislosti některých zdrojů chyb, které autoři testovali. Příklad teplotní závislosti spolu s linearitou a hysterezí kapacitního snímače je uveden na **obr. 19.**



Obr. 19: Teplotní závislost, linearita a hystereze kapacitního snímače podle L [12]



Obr. 20: Polynomické zpracování výsledků kalibrace podle L [12]



Obr. 21: Průběh driftu kapacitního snímače RH v období šesti let podle L [12]

Následující **obr. 20** demonstruje obtíže při interpretaci výsledků měření kapacitního snímače, resp. problém určení chyby linearity. Přesto, že byla kalibrace provedena ve čtyřech bodech, ani dostatečný počet opakování v těchto bodech nám nepomůže při stanovení skutečné charakteristiky. Na obrázku je znázorněno proložení bodů polynomy 1. až 3. řádu. Je patrné, že ani zvýšení stupně polynomu není stoprocentní pro predikci křivky odchylek. Extrapolace hodnot u těchto snímačů je krajně nevhodná.

Kapacitní snímače, speciálně snímače zatěžované vysokou nebo střídavou teplotou i vlhkostí, mají významný dlouhodobý drift. Nejběžnější snímače používané v ČR (typ HC2 v různých variantách od fy Rotronic) mají např. základní přesnost deklarovanou jako ±0,8 % RH a dlouhodobý drift až do ±1,0 % RH, tedy větší než deklaraci přesnosti. Drift je pochopitelně ovlivněn způsobem použití a opět se váže k předmětu příspěvku – použití vysokých teplot a střídání vlhkostí drift zhoršuje. Příklad průběhu driftu podle L [12] je na **obr. 21.**

5. ZÁVĚR

Z uvedeného přehledu je zřejmé, že stanovení nejistoty měření RH vzduchu není jednoduché a když k tomu přidáme proměnné teploty a vlastnosti použitých snímačů, těžko se dostáváme na malé hodnoty nejistot. RH vzduchu je komplikovanou veličinou a stejně komplikované je její správné měření spolu s konstatováním mezí, ve kterých správná hodnota leží. Nejlepších výsledků lze dosáhnout při použití rosnobodového vlhkoměru, u kterého využíváme kalibraci teploty vzduchu a teploty rosného bodu. Úskalí jednotlivých snímačů jsou popsána v textu a nechávám na čtenáři, aby posoudil, jaký způsob měření je pro něj nejvhodnější. V každém případě nesmíme při měření zapomínat, že kromě snímače se na nejistotě měření podílí i prostředí, ve kterém RH a teplotu generujeme. Změnou teploty se také mění podmínky v klimatické komoře. Na stabilitu prostředí obvykle významný vliv není, ale zásadně se může měnit homogenita prostoru. Příklady změn homogenity v závislosti na kalibrační teplotě jsou uvedeny v **tabulce 3** podle L [12]:

LITERATURA:

L [1]: Relative Humidity Measurement and Calibration; katalog měřidel a základní teorie verze 3.0, Michell Instruments (www.michell.com).

L [2]: Sergio A. CARVAJAL, Ciro A. SÁNCHEZ: Temperature effect in the calibration of capacitive humidity sensors; International Journal of Metrology and Quality Engineering 9/2018.

Tabulka 3: Příklad změn homogenity klimakomory v závislosti na měřené RH a teplotě podle L [12]

RH (%)	Teplota (°C)	-10	0	10	20	30	40	50	70
10		0,46	0,28	0,18	0,09	0,07	0,13	0,20	0,32
50		2,49	1,35	0,87	0,48	0,29	1,20	0,76	1,15
95 (84; 90)		4,23	2,40	1,65	0,91	0,57	0,94	0,84	0,85
$U_{max, k=2}$		4,3	2,4	1,7	1,0	0,6	1,2	0,9	1,2

L [3]: Ing. Miloš KLASNA, Ing. Jan BLAŽEK: Teplotní kompenzace teplotního součinitele při měření relativní vlhkosti plynů; AUTOMA 3/2009.
L [4]: Tarikul ISLAM, Zaheer UDDIN, Amit GANGOPADHYAY: Temperature Effect on Capacitive Humidity Sensors and its Compensation Using Artificial Neural Networks; Sensors & Transducers, Vol. 191, Issue 8, August 2015, pp. 126-134.
L [5]: The Capacitive Humidity Sensor – How it Works & Attributes of the Uncertainty Budget; Rotronic Technical Note (ROTRONIC Measurement Solutins – www.rotronic.com).
L [6]: YING Liu, HONGBO Mo and XIAOLIN Wang: Influence Factors and Uncertainty Analysis of Relative Humidity Measured by Psychrometer; Journal of Physics ICFST-2022.
L [7]: Mark STEVENS, Tracey COLLIER, Ralph HARRIS: Comparison of Instruments for Measuring Relative Humidity; NPL Report. CBTLM 6.
L [8]: Anders Bonde KENTVED, Martti HEINONEN, Domen HUDOKLIN: Practical Study of Psychrometer Calibrations; Int J Thermophys (2012) 33:1408–1421.
L [9]: JIUNYUAN Chen and CHIACHUNG Chen: Uncertainty Analysis in Humidity Measurements by the Psychrometer Method; Sensors 2017, 17, 368, www.mdpi.com/journal/sensors.
L [10]: H. W. Loescher, C. V. Hanson, T. W. Ocheltree: The Psychrometric Constant Is Not Constant: A Novel Approach to Enhance the Accuracy and Precision of Latent Energy Fluxes through Automated Water Vapor Calibrations; American Meteorological Society, Journal of Hydrometeorology October 2009.
L [11]: Jarkko RUONALA: Humidity Theory: Understanding Humidity; prezentace fy. VAISALA www.vaisala.com.
L [12]: Martti HEINONEN: Uncertainty in Humidity Measurements; Publication J4/2006 of the EUROMET Workshop P758.
L [13]: Mark G. LAWRENCE: The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air, A Simple Conversion and Applications; American Meteorological Society, BAMS February 2005.
L [14]: Vaisala Oyj: Calculation formulas for humidity; B210973EN-F © Vaisala 2013 https://web.archive.org/web/20200212215746im_/https://www.vaisala.com/en/system/files?file=documents/Humidity_Conversion_Formulas_B210973EN.pdf
L [15]: Earth Science: How to calculate relative humidity from temperature, dew point, and pressure? https://earthscience.stackexchange.com/questions/16570/how-to-calculate-relative-humidity-from-temperature-dew-point-and-pressure
L [16]: Hans LIEDBERG: Uncertainty of Measurement: Relative Humidity via Dew Point and Air Temperature; Metrology Rules 2014, Uncertainty of measurement: relative humidity via dew point and air temperature | Metrology Rules.

♦ ♦ ♦

OZNAČOVÁNÍ STAVEBNÍCH VÝROBKŮ PŘI JEJICH UVÁDĚNÍ A DODÁVÁNÍ NA TRH V ČESKÉ REPUBLICE

Ing. Lubomír Keim, CSc.

Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost, s.r.o.

Použití výrobků s požadovanými vlastnostmi při provádění stavby je jedním z předpokladů splnění technických požadavků na stavby. Projektant i zhotovitel stavby by měli mít k dispozici věrohodné doklady o deklarovaných vlastnostech stavebních výrobků a jejich určeném použití ve stavbě, na základě kterých se mohou rozhodnout, zda daný stavební výrobek je vhodný do navrhované nebo prováděné stavební konstrukce z hlediska plnění základních požadavků na stavby.

Požadavky na výrobky do stavby

Jaké stavební výrobky a s jakými vlastnostmi mohou být navrženy a použity do stavby z hlediska zajištění její způsobilosti pro navržený účel a splnění základních požadavků na stavby, stanoví nový stavební zákon č. 283/2021 Sb. v § 153 odst. 1 shodně jako předchozí stavební zákon č. 183/2006 Sb. v § 156 odst. 1. Nový stavební zákon v § 153 odst. 2 rozšiřuje aspekty stanovení výrobků pro povinné posuzování na ty výrobky, které mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby a které by mohly ve zvýšené míře ohrozit život nebo zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost anebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem. Tyto výrobky se nazývají ***výrobky stanovené***.

Práva a povinnosti osob, které výrobky uvádějí a dodávají na trh, stanoví zákon č. 22/1997 Sb. Povinnosti výrobců a dovozců stavebních výrobků při uvádění výrobků na Evropský jednotný trh, stanoví nařízení (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh. Toto nařízení se však vztahuje pouze na ***harmonizované stavební výrobky***, což jsou takové výrobky, pro které existují harmonizované evropské normy, případně evropská technická posouzení, na které Evropská komise zveřejnila odkaz

v Úředním věstníku EU. Stavební výrobky, na které se harmonizované evropské normy zatím nevztahují, jsou ***neharmonizované stavební výrobky*** a jejich uvádění na trh v ČR se řídí národní právní úpravou - nařízením vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky.

Informační povinnosti výrobců harmonizovaných stavebních výrobků

Nařízení (EU) č. 305/2011 ukládá výrobci, aby před uvedením harmonizovaného stavebního výrobku na trh vypracoval a zpřístupnil ***prohlášení o vlastnostech***. Obsah prohlášení stanoví příloha III nařízení (EU) č. 305/2011, novelizovaná nařízením Komise v přenesené pravomoci č. 574/2014/EU. Prohlášení o vlastnostech musí obsahovat, kromě jiného, i výrobcem závazně deklarované vlastnosti výrobku pro zamýšlené použití výrobku, v rozsahu podle příslušné harmonizované normy. Součástí prohlášení o vlastnostech je též tabulka deklarovaných vlastností stavebního výrobku, vyjádřených úrovní, třídou nebo popisem v rozsahu zamýšleného použití výrobku, jak ji uvádí příslušná harmonizovaná evropská norma obvykle v příloze ZA.1. Výrobce pak k výrobku, na který vydal prohlášení o vlastnostech, připojuje ***označení CE***, čímž dává na vědomí, že nese odpovědnost za shodu konkrétního kusu stavebního výrobku s vlastnostmi uvedenými v prohlášení o vlastnostech. ***Označení CE je obvykle součástí štítku výrobku*****,** na kterém výrobce uvádí vlastnosti výrobku uvedené v prohlášení o vlastnostech a další informace, které stanoví článek 9 nařízení (EU) 305/2011.

Informační povinnosti výrobců a dovozců neharmonizovaných stavebních výrobků

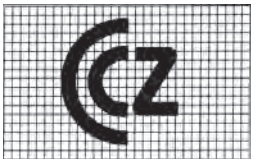
Nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ukládá výrobci nebo dovozci vydat ***prohlášení o shodě***, jehož obsah upravuje § 13 tohoto nařízení vlády. Nařízení však neukládá výrobci nebo dovozci povinnost uvést v prohlášení o shodě deklarované vlastnosti výrobku ani opatřit výrobek značkou shody.

Nařízení vlády č. 119/2024 Sb. zavádí označování stavebních výrobků českou značkou shody CCZ

Nepřijetím nového zákona o stavebních výrobcích, připraveného Ministerstvem průmyslu a obchodu, došlo k prodloužení nevyhovujícího stavu, kdy projektant ani zhotovitel stavby nemají u neharmonizovaných stavebních výrobků k dispozici závazně deklarované vlastnosti stavebního výrobku, které potřebují jak pro návrh, tak i pro výběr vhodných výrobků pro provedení stavby, aby mohli zajistit splnění požadavků podle § 153 nového stavebního zákona.

Z tohoto důvodu Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě dala podnět pro novelizaci nařízení vlády č. 163/2002 Sb. a účastnila se vypracování novely, která byla zveřejněna ve Sbírce zákonů v podobě nařízení vlády č. 119/2024 Sb. Novela spočívá v doplnění ustanovení § 13 odst. 1 o nové písmeno f), ukládající výrobci nebo dovozci uvádět v prohlášení o shodě též **deklarované vlastnosti výrobku** v rozsahu počáteční zkoušky typu a označovat stavební výrobky, na které vydal výrobce nebo dovozce prohlášení o shodě podle nařízení vlády **č.** 163/2002 Sb., **českou značkou shody CCZ**, vyobrazenou v příloze 4 nařízení vlády č. 119/2024 Sb. Pokud to vzhledem k povaze výrobku není možné nebo odůvodněné, lze připojit českou značku shody k obalu nebo k průvodní dokumentaci výrobku. Výrobce nebo dovozce nemusí připojit českou značku shody v případě posouzení shody při kusové výrobě podle § 9 nařízení vlády č. 163/2002 Sb.

Vzor české značky shody stanoví příloha č. 4 k nařízení vlády 119/2024 Sb.



Obsah prohlášení o shodě se v § 13 doplňuje o nový odstavec, který stanoví rozsah uváděných vlastností. Ten je definován jako *„Úplný soubor deklarovaných technických vlastností výrobku, které mohou ovlivnit alespoň jeden ze základních požadavků na stavby uvedených v příloze č. 1 k tomuto nařízení; tyto vlastnosti se uvádějí v rozsahu počáteční zkoušky typu a vyjadřují se třídou, úrovní, mezní hodnotou nebo popisem tak, aby stavba mohla být řádně navržena a provedena.“*

Nařízení vlády č. 119/2024 Sb. nabude účinnosti 1. ledna 2025. Prohlášení o shodě, vydaná před dnem účinnosti této novely, zůstanou (za podmínek uvedených v nařízení vlády) v platnosti nejdéle po dobu 3 let ode dne nabytí účinnosti tohoto nařízení.

Nařízení vlády č. 119/2024 Sb. zajistí jednotné podmínky pro identifikaci stanovených stavebních výrobků řádně uvedených na trh, srovnatelné technické podklady pro návrh a použití výrobků ve stavbě a kontrolu při přejímání výrobků.

Množí se dotazy výrobců stavebních výrobků, zda je s ohledem na ustanovení zákona č. 22/1997 Sb., § 13 odst. 5, možné „souběžné“ označení výrobku značkou CCZ a CE tam, kde povinnost označovat stavební výrobek CE vyplývá z přímo použitelného předpisu (EU), kterým může být i ve výjimečných případech i nařízení (EU) č. 305/2011.

Tazatelé zapomínají na zákon č. 100/2013, kterým se mění zákon č. 22/1997 Sb. a bylo jím adaptováno nařízení (EU) č. 305/2011. Do § 13 zákona byl doplněn odstavec (15), ve znění: „Odstavce 1 až 14 se nepoužijí pro stavební výrobky s označením CE, jejichž uvádění a dodávání na trh upravuje přímo použitelný předpis pro stavební výrobky.“ Z uvedeného zákona v platném znění tedy vyplývá, že § 13 se nevztahuje na stavební výrobky. Jinými slovy pro stavební výrobky v § 13 platí pouze doplněný odstavec 15.

ASPEKTY RECYKLACE POLYMERNÍCH MATERIÁLŮ VE VZTAHU K POŽADAVKŮM CIRKULÁRNÍ EKONOMIKY

Ing. Jiří Samsonek, Ph.D.

Institut pro testování a certifikaci, a.s.

Abstrakt

V posledních letech se celosvětově vyzdvihuje potřeba zvyšování podílu recyklování materiálů na úkor materiálů nových, za účelem snižování exploatace zdrojů, ať už obnovitelných, nebo neobnovitelných. Recyklace různých typů materiálů se historicky provádí již staletí, a to zejména tam, kde to umožňuje povaha a charakter recyklovaného materiálu. Typicky se jedná o sklo a kovy. Nové syntetické materiály, které byly uvedeny na trh v průběhu dvacátého století, zejména plasty, jsou však svou povahou odlišné, takže i recyklace takovýchto materiálů je poněkud odlišná. Článek se zabývá limitacemi recyklace polymerních materiálů, zejména pak plastů, ve vztahu k novým trendům recyklace v obalovém průmyslu.

Úvod

Recyklaci materiálů bylo a stále je ve vědecké i průmyslové sféře věnováno mnoho prostoru. Důvody pro recyklaci lze chápat jednak historicky z ekonomické stránky, kdy recyklovaná surovina byla levnější než nové materiály, však v poslední době ale i filozoficky, vycházející ze stále častěji diskutovaných otázek využívání zdrojů na planetě a principů udržitelnosti [1], kdy jeden ze základních aspektů udržitelnosti je i recyklace a minimalizace odpadů.

Tradičně byly a jsou v obalovém průmyslu recyklovány obaly ze skla a kovů. Technologie jak sběru, tak znovuzpracování u těchto dvou komodit je dobře zvládnutá a široce používaná po celém světě. Stejně tak se historicky zpracovával druhotně separovaný papír, kterému se však v tomto článku nebudeme věnovat, i když celulóza je ve své podstatě taky polymerní materiál.

V oblasti plastů, používaných pro obalové technologie, je situace s recyklováním poněkud odlišná od těchto tradičních materiálů (kovů, skla). Zásadním rozdílem je zde materiální povaha samotného plastu (organický materiál) versus anorganické obaly. Průmyslově jsou částečně zvládnuty postupy recyklace vybraných plastových materiálů, zejména polyethylentereftalát (neboli PET) a polyolefinů, kdy tyto materiály tvoří majoritu v obalovém průmyslu [2] a mělo tudíž historicky smysl se zabývat jejich recyklací – přepracováváním.

Je mnoho postupů a technologií, jak znovu uvést plastový materiál do oběhu. Může to být jednak přímé znovunaplnění obalu, dále recyklace za využití mechanických recyklačních procesů (drcení, čištění granulátu a znovu přetavení do výrobku), tak i recyklace formou pyrolýzy nebo depolymerace, kdy polymerní řetězec štěpíme na základní jednotky a z nich poté znovu připravíme polymer nebo jiný výrobek. Konečně je možné odpadní plast využít jako palivo.

Schematicky je proces recyklace plastových obalů a plastových obalových materiálů z hlediska materiálových toků popsán v normě ČSN EN 13437 Recyklace obalů a obalových materiálů – Kritéria recyklačních metod – Popis recyklačních procesů a diagramy materiálových toků. Příloha E této normy znázorňuje diagramem možnosti toku materiálu v procesu recyklace plastů.

Tento diagram popisuje mnoho alternativ a způsobů materiálového toku plastu v procesu výroby, použití, znovupoužití a recyklace plastu, od těch nejžádanějších (znovupoužití plastového obalu opakovaným plněním), přes např. recyklaci mechanickým drcením a novým přetavením do nového výrobku, až po recyklaci s energetickým zhodnocením materiálu, popř. pyrolýzu na suroviny, monomery, či pro výrobu paliv.

Diagram je schéma, popisující procesy a toky, nikoliv popis samotných použitých technologií a jejich specifikací, a je tedy nadčasový. Mnohdy příslušná technologie nemusí být pro konkrétní typ plastu/odpadu ještě k dispozici, nicméně diagram dává obraz o tom, co se s příslušným plastem může stát v průběhu jeho životního cyklu. Postupně, jak se vyvíjí nové technologie recyklace odpadů, tak mohou být tyto nové technologie přiřazovány do tohoto schématu, ať už se jedná o technologie výroby paliv pyrolýzou, depolymerací polymeru na monomery, popř. technologie, umožňující vysoce sofistikované přečištění polymerů a následné opětovné uvedení do oběhu [3].

Tento diagram, a vůbec filozofii toků plastových materiálů v obalovém průmyslu, je nyní potřeba analyzovat z hlediska nových názorových a ideologických směrů, proklamovaných v poslední době – zejména z hlediska cirkulární ekonomiky. Zdá se, že iniciativy, které se kolem tohoto fenoménu vyskytují, formují své vize tím směrem, že cirkulární ekonomika bude v jejich pojetí znamenat dokonalý uzavřený oběh materiálů v ekonomice, bez nutnosti zásadního vstupu nových materiálů a takřka bez odpadů [4] . Proklamace, které jsou uvedeny např. v citovaném „The European Plastics Pact“, jsou dle názorů autorů více než ambiciózní, kolidující s technickou realitou, která limituje možnosti recyklace plastových obalů a plastů vůbec. Příloha č. 1 k dokumentu „The European Plastics Pact“ totiž dokonce proklamuje, že vize cirkulární ekonomiky v pojetí této iniciativy je stav, kdy jsou všechny plasty pro obaly znovupoužity, recyklovány, nebo kompostovány, přičemž žádný plastový obalový materiál by neměl skončit v přírodě, skládce či spalovně.

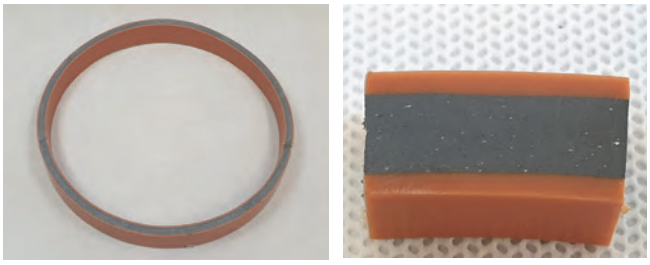
Názory na budoucí fungování cirkulární ekonomiky, prezentované např. Ministerstvem pro místní rozvoj [5], počítají dle proklamací se situací, že do roku 2030 lze všechny plastové obaly uvedené na trh EU buď opětovně použít, nebo recyklovat nákladově efektivním způsobem. Proklamací tohoto směru se dá v současnosti ve veřejném prostoru najít stále více a zdá se, že již jednou publikované vize jsou bez revize a kritického pohledu novými vizionáři přebírány bez ohledu na jejich realizovatelnost.

Cíle, popsané např. v „The European Plastics Pact“, se jeví vzhledem ke zde uvedeným faktům jako nereálné za současného stavu vědy a techniky.

Problematika recyklace polymerních materiálů versus recyklace tradičních materiálů

Pokud se budeme zabývat recyklací materiálovou (tedy nikoliv znovunaplněním a znovupoužitím výrobku), pak rozdíl mezi recyklací polymerních materiálů a tradičních surovin je zásadní. Procesy recyklace tradičních surovin, jako sklo a kovy, probíhají na atomární úrovni, kdy produkt recyklace může být ve stejné kvalitě jako materiál původní. U skla je to přetavení střepů při vysokých teplotách (s přídavkem nového materiálu), u kovů je to rovněž přidávání recyklované a vytříděné suroviny do nové tavby.

U polymerních materiálů je situace podobná, ne však totožná. Je nutné si uvědomit, že způsobů recyklace plastů je několik (viz diagram z ČSN EN 13437, přílohy E) a že jen procesy recyklace, které jsou označeny c2 (výroba polymeru), c3 (výroba monomeru) a c4 (pyrolýza) mohou vést ke stejné kvalitě nového produktu, jako jsme uvyklí u tradičních materiálů, jako je sklo, nebo kovy, neboť vyrábíme polymer nový. Přimícháváním recyklátu (drceného) do nového polymeru rozhodně realizujeme recyklaci, ale vystavujeme se problémům s finálními výrobky, jako např. nekompatibilita polymerů, přítomnost nečistot, inkluzí, přepáleného materiálu, popř. vnitřních separací v důsledku přítomnosti separačních prostředků v recyklátu.



Obr. 1: PVC trubka s vnitřní vrstvou recyklovaného PVC – bílé inkluze – zgelovatěný PVC (povrchová vrstva starých PVC oken, která je již netavitelná, protože je povětrnostním stárnutím a kyslíkem prosíťovaná)

Všechny tyto problémy se u výrobků, u kterých bylo použito recyklátu, byť velmi kvalitně vytříděného, ve skutečnosti opravdu vyskytují. Laboratoře Institutu pro testování a certifikaci při defektoskopických analýzách polymerních výrobků identifikovaly již mnoho takovýchto problémů, kdy zajištění stálé kvality výroby není snadné v momentě, kdy neexistuje nikdy 100% kontrola nad kvalitou používané recyklované suroviny. Příklad takovéto separace je uveden na **obr. 1** , kdy se pro výrobu technického výrobku použil recyklát, zcela nevhodně vytříděný, v němž byly nalezeny čtyři různé druhy plastů, které nemohou spolu tvořit kvalitní homogenní polymer. S nižší kvalitou výrobků a vyšším rizikem vad finální produkce se při používání recyklátů musíme smířit. Nasnadě je otázka například zdravotní nezávadnosti takovýchto recyklátů pro aplikace, kde je to nezbytně vyžadováno, jako jsou zdravotnické prostředky, výrobky ve styku s potravinami nebo hračky. Mají autoři podobných výzev jasno v tom, jak budou v cirkulární ekonomice řešeny takovéto „senzitivní“ výrobky z hlediska jakosti a složení?

Lépe na tom jsou procesy recyklace tzv. na molekulární úrovni, kdy je použitý polymer, určený k recyklaci, depolymerizován, čištěn rozpouštědlovým postupem, popř. pyrolyzován. Tyto postupy se nazývají rovněž postupy chemické recyklace [6]. Takto nastavený proces recyklace na molekulární úrovni umožňuje mnohem vyšší stupeň kontroly nad kvalitou znovupoužitelných surovin, ačkoliv je energeticky mnohem náročnější než jednodušší, mechanické postupy recyklace. U této recyklace je možné oddělit nečistoty, nezáměrně přidávané látky (tzv. NIAS – Not Intentionally Added Substances), degradační produkty apod. a docílit tím produkt o vysoké kvalitě. I zde však je kvalita vstupního separovaného materiálu zásadní. Zejména přítomnost halogenovaných polymerů (ať už PVC či jiných) může tento proces značně poznamenat až znehodnotit, a to hlavně u pyrolyzních procesů a při procesech depolymeračních.

Ačkoliv jsou známy postupy recyklace mechanické, chemické, znovupoužití výrobků apod., nikdy se asi nelze vyhnout nutnosti termického využití odpadů (tedy spalování).

To, že diagram z normy ČSN EN 13437 v příloze E zahrnuje i procesy termického využití odpadů, je naprosto správné, jelikož mnohdy výrobky svým složením neumožňují efektivní a ekonomickou recyklaci ani mechanickou, ani chemickou [6]. Typickým příkladem jsou:

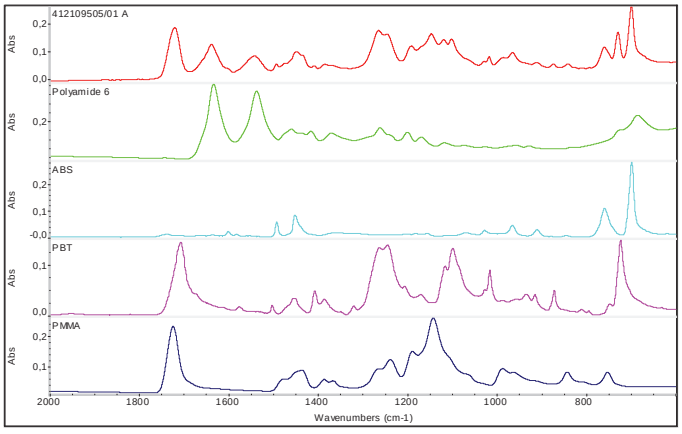
- kompozitní materiály, často reaktoplasty, vulkanizáty a vysoce plněné materiály
- multi-materiály, které nejdou separovat a jejichž rozdílné složení způsobuje v technologiích recyklace zásadní komplikace (vícevrstvé folie PA/PE, běžně používané v obalovém průmyslu pro potraviny, dvou-komponentně vstřikované výrobky s kombinací plastu a termoplastického elastomeru, kombinace plastu a papíru apod.)
- problematické materiály, např. PVC, PVDC, které při termických procesech uvolňují radikál chlóru, který reaguje s ostatními organickými látkami za vzniku polychlorovaných látek, dále již nezpracovatelných na výchozí suroviny.

U těchto a mnohých jiných materiálů je stále výhodnější jít cestou termického zhodnocení odpadů, což ovšem koliduje s proklamacemi typu „The European Plastics Pact“ [4]. Ten jako by nereflektoval šíři problematiky plastů, používaných v denní praxi, a nutnost částečného energetického využití odpadů jako rozumné alternativy jinak nezpracovatelného odpadu.

Faktory, ovlivňující degradaci polymerních materiálů a limitace znovupoužití plastů

Organické látky, které tvoří základ všech běžně používaných polymerů, jsou struktury, které jsou intenzivně ovlivňovány okolním prostředím. Některé více, jiné méně. Faktory, které jsou všudypřítomné a které jsou relevantní

pro obalové materiály, jsou především: kyslík, světlo (hlavně UV záření) a přítomnost vlhkosti. Tyto vlivy, které jsou neoddělitelnou součástí našeho života, ovlivňují i samotný materiál plastových obalů. Oxidace, UV degradace a hydrolýza jsou jevy, které kontinuálně v čase snižují užitné vlastnosti polymerů různou měrou a mimo degradace jejich mechanických a užitných vlastností mění i jejich chemickou strukturu. Příklad takovéto nevratné degradace polymeru je na **obr. 2**, kdy je v PVC trubce, jejíž vnitřní vrstva je vyrobena z recyklovaného PVC, patrná přítomnost bílých defektů. Jde o netavitelné zgelovatěné PVC z povrchu bílých okenních profilů, které byly k přípravě recyklátu použity.



Obr. 2: Příklad vyloženě špatné recyklace – smíchání různých polymerů – vadný díl (defektní, který pod zatížením praskl), FTIR spektrum – nalezeny PA6, poly-(akrylonitril-butadin-styren), poly-(butylen-tereftalát) a poly-(metylmetakrylát)

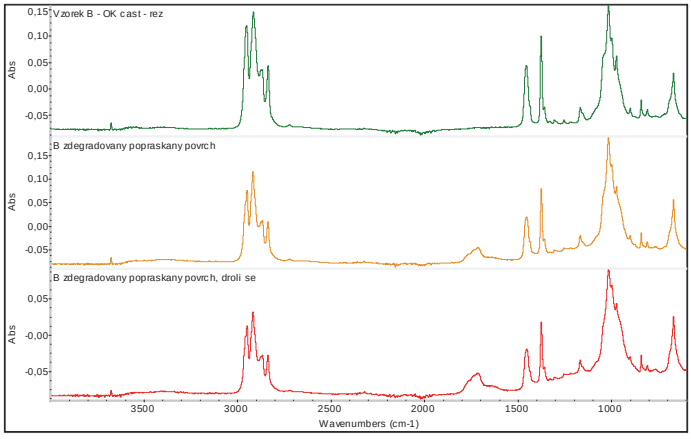
Nelze se tedy domnívat, že všechny polymerní materiály je možné recyklovat donekonečna. Limitací je zcela jistě termická, oxidační a UV nestabilita plastů, která se podepisuje na kvalitě a složení celého plastového výrobku jednak v průběhu zpracování, tak v průběhu životnosti. **Obr. 3** demonstruje stav jednoho z nejběžněji používaných polymerů v průmyslové praxi – polypropylenu, který po dlouhé expozici vyšší teplotě v prostředí vzduchu (tedy za přítomnosti kyslíku) postupně vyčerpá antioxidanty a následně polymerní řetězec vlivem oxidace zcela zdegraduje takovým způsobem, že opětovné použití tohoto plastu je nemožné.

Dalším faktorem je omezená mísitelnost některých polymerů, popř. problémy s nastavením zpracovatelských teplot pro výrobu z recyklátů. Na **obr. 4** je příklad defektu obalu bowdenu, který je za normálních okolností vyroben z polyethylenu. Vzhledem k přítomnosti recyklátu, který obsahoval stopově polypropylen (který má o cca 60 °C vyšší bod tání), došlo ke vzniku podélných trhlin, a to z důvodů zcela zřejmých. Zpracovatelské teploty polyethylenu jsou mnohem nižší než u polypropylenu, který se tudíž v procesu extruze ne zcela roztavil, a neroztavený polypropylen právě zapříčiní takovýto defekt. Vada není zprvu viditelná, projevuje se až po jisté době. Představu o tom, jaké škody může taková výroba napáchat a jaké náklady jsou spojeny s následnými opravami a stahováním výrobků z trhu, si může čtenář udělat sám.

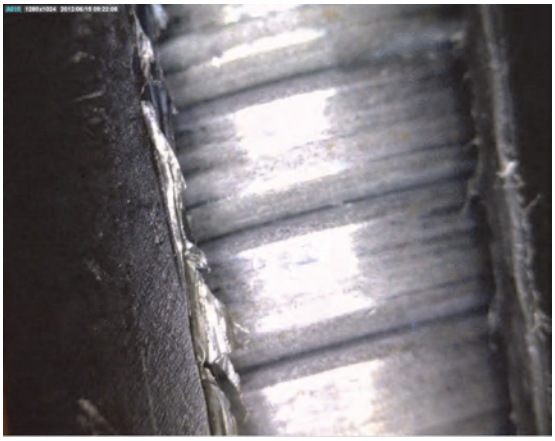
Dalšími faktory, které ovlivňují možnosti recyklace, jsou aditiva a plniva v plastech. Plasty jsou (a nutně musí být) pro mnoho aplikací dopovány aditivy a plnivy, například z důvodů snížení jejich hořlavosti, popř. zvýšení UV stability a stability na světle. Tyto materiály lze po uplynutí doby jejich životnosti většinou jen stěží znovu použít na identické aplikace.

Odhlédneme-li od obalových materiálů a podíváme-li se na polymerní výrobky obecně, můžeme uvést typický případ odpadu z elektro výrobků, popřípadě stavebních výrobků. Materiály, použité před např. dvaceti lety (kdy byl daný výrobek konstruován a vyráběn), mohou být díky nově vydané legislativě v současnosti již naprosto nevhodné a nesplňující požadavky stávajících legislativních aktů. Mnohdy se při recyklaci stává, že z recyklátu, který obsahuje jistá aditiva, se vyrobí výrobek, pro který jsou daná aditiva nepřípustná, jako například bromované retardéry hoření, nalezené ve výrobcích, určených pro styk s potravinami [7].

Jak naložit s takovým materiálem, jakým je například deska tištěného spoje, která obsahuje aditiva, která jsou již v současné době nepoužitelná? Pro takovýto výrobek není možné provést depolymerizaci a vyčištění, ani pyrolýzu (vzhledem k přítomnosti halogenů v materiálu) a ani rozpuštění a čištění rozpouštědlovou cestou, vzhledem k tomu, že je to termoset! Uveďme si příklad výrobku s krátkým životním cyklem: potištěný



Obr. 3: Typický případ zdegradovaného poly-(propylenu) (teplem), kdy ve spektru se vyskytují (oproti novému polymeru – zelené spektrum) široký peak oxidačních produktů na vlnočtu ca 1700 cm-1 a také kolem vlnočtů 1100 cm-1 (karbonylové a karboxylové funkční skupiny). Takto zoxidovaný poly-(propylen) už nikdy nebude mít vlastnosti nového plastu, tato degradace vede až k úplné dezintegraci polymeru, viz. foto.



Obr. 4: Defektní pouzdro od bowdenu – do polyethylenu (což měl být původní materiál obalu) byl přimíchán recyklát, který obsahoval stopy polypropylenu. Vzhledem k různým teplotám tání vznikla vnitřní separace a tudíž vada výrobku.

obal potraviny, kdy materiál potisku je zásadně chemicky odlišný od vlastního polymeru a lze si jen obtížně představit, že použitá tiskařská chemie se v budoucnu nebude negativně podepisovat na celkových chemických, materiálových, estetických a hygienických vlastnostech recyklátu z takovéto druhotné suroviny.

Navíc, již prostá existence legislativních předpisů, jako je REACH [8] či RoHS [9], vyžaduje znalost detailního složení použitého materiálu a respektování zákonných limitů obsahu, např. některých aditiv. Výrobce tedy nutně musí mít detailní informace o složení plastu, a to nejen o majoritním polymeru, ale rovněž i o přesném složení aditivace, která je u recyklátů vždy neznámá! Je otázkou, zda subjekt, který nyní uvádí na trh materiál, vyrobený z recyklátu drcením, kdy není přesně definovaný zdroj recyklátu, smí či nesmí *de jure* uvádět takovýto výrobek na trh. Neví totiž, zda náhodou obsahy znečišťujících látek nepřekračují meze, dané platnou legislativou REACH. Budeme tedy pro recykláty zavádět výjimky z legislativy REACH? Nebo budeme rezignovat na residuální znečištění recyklátů a mlčky ho tolerovat?

Z praxe jsou běžně známy případy, kdy termické procesy zpracování plastů mohou generovat v materiálu prekurzory karcinogenních látek, a vzhledem k těmto známým faktům jsou jejich obsahy v nových výrobcích přísně legislativně limitovány. Typickým příkladem budiž rozkladné produkty široce používaných azobarviv [10] na primární aromatické aminy. Příplady výrobků, u kterých jsou rozkladné produkty azobarviv dlouhodobě zdravotním problémem, jsou evidovány a zveřejňovány v Evropě již mnoho let v systému rychlého varování RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed). Nic nenapovídá tomu, že by masivní používání recyklátů pro výrobky ve styku s potravinami tuto statistiku nějak do budoucna vylepšilo. Co s recykláty, vyrobenými z takovýchto materiálů, kdy každá výrobní šarže recyklátu může být potenciálně závadná z důvodů nového termického zpracování plastu? Reálné zakázky v laboratořích již začínají prokazovat emise škodlivých látek při zpracování recyklovaných polymerů, ale zatím se tato situace nijak široce nediskutuje. Lze se oprávněně domnívat, že těchto kauz bude přibývat s větším počtem podílu recyklovaných polymerů ve výrobcích a s vyšším počtem samotných recyklačních cyklů.

Možná řešení, výhled do budoucna

Odlišnost polymerních materiálů od klasických tradičních obalů je zjevná. Proces degradace polymerních materiálů v čase, spolu s obrovskou variabilitou použitých materiálů a jejich složení, zcela zásadně ovlivňuje a limituje možné procesy recyklace polymerů v praxi.

Řešení, které by počítalo s tzv. uzavřenou cirkulací polymerních materiálů, není v současnosti k dispozici a nejspíše pro většinu polymerních materiálů ani nikdy k dispozici nebude [6].

Je tedy nutné uvažovat o partikulárních řešeních pro různé typy odpadů/plastů a jejich toků ve smyslu BAT (Best Available Technologies). Není ale možné počítat s tím, že by bylo vůbec technicky možné naplnit ideály 100% recyklace, kompostovatelnosti anebo znovupoužívání plastových obalových materiálů.

Stávající pojetí a definice míry recyklovatelnosti obalů a plastů, uvedené např. v ČSN EN 13440 Obaly – Míra recyklace – Definice a metoda výpočtu, nezohledňuje vůbec skutečnost, že plastové materiály stárnou, a tím se snižují jejich užitné vlastnosti. V příloze D této normy, která popisuje příklad *„Prohlášení o procentním podílu využitelném k recyklaci ve funkční jednotce obalu“,* není přirozené stárnutí polymerů nijak zohledněno. Stejně tak nejsou vzaty v úvahu fenomény jako potisk obalu, obsahy aditiv apod. Realita je však jiná. Nelze uvažovat o nekonečném počtu recyklačních cyklů u materiálů, které časem degradují, nelze prohlásit, že např. polypropylenová součást obalu je ze 100 % recyklovatelná (viz Příloha D normy ČSN EN 13440) bez zohlednění výše uvedených skutečností.

Procesy reálné recyklace pracují s neuvěřitelnou šíří materiálů, jejich komplikovaným designem, potřebným např. k zajištění bariérových vlastností u obalových materiálů proti prostupu kyslíku, variabilitou barev, aditiv a různého stádia „vyžití“ plastu, a tudíž jeho stavem [11]. Jak a kdo bude určovat, zda daný výrobek ještě lze nebo už nelze zpracovat procesem recyklace, jaký způsob recyklace daného kousku plastu bude zvolen a zda náhodou už nebude nutné ho například pyrolyzovat na základní suroviny?

Bude tato fáze recyklace v budoucnosti robotizována, kdy roboti budou schopni třídit na základě ultrarychlé spektrální analýzy každý kousek plastu do toho správného materiálového toku? Jisté pokroky se již v této oblasti dějí, ale stále neřeší problematiku stárnutí plastů a jejich aditivace. Automatizované systémy třídění rovněž nemohou řešit multimateriály, materiály kompozitní, materiály síťované, popř. velmi plněné. U takovýchto materiálů nebude nejspíš automatizované třídění možné nikdy.

Budeme umět si s výzvou cirkulární ekonomiky u plastů někdy vůbec poradit? Nebo je idea 100 % recyklace, kompostovatelnost a nebo znovupoužívání plastových

obalových materiálů zcela mimo technickou realitu z hlediska současnosti i středně dobého výhledu?

Recyklace chemickou cestou, označená v diagramu z ČSN EN 13437, přílohy E jako c2 (výroba polymeru), c3 (výroba monomeru) a c4 (pyrolýza), se může omezeně aplikovat, ale zatím je v praxi použitelná pouze pro určité typy polymerů. Odborná publikace [12] hovoří např. o použitelné chemické recyklaci PE, autoři však v závěru konstatují, že pro polypropylen (rovněž masově používaný plast) je kupříkladu již zkoumaná technologie chemické recyklace v současnosti nepoužitelná.

Energetické využití plastů je v drtivé většině v současnosti nejlépe zvládnutá technologie, zajišťující energetické zhodnocení organického materiálu (polymeru), jehož původ je ve většině případů v ropě. Z tohoto toku materiálu lze postupně oddělovat ty složky, které lze jinak efektivněji využít, např. pro pyrolýzu nebo depolymeraci, popř. přečištění a znovupoužití daného polymeru. Samotné přímé přepracování polymerů na druhotné výrobky má své limitace a je z hlediska dlouhodobého výhledu cestou, která nutně musí počítat s postupnou degradací materiálu, a tím i nutností využití jiné recyklační technologie, např. pyrolýzu nebo energetické zhodnocení odpadu. Střednědobý výhled v horizontu deseti let těžko může počítat se 100% recyklovatelností, biodegradabilitou nebo vrácením polymeru zpět do životního cyklu výrobku.

Pokud bychom se chtěli zabývat zvýšením efektivity termického zpracování odpadových materiálů, ať už pyrolýzou nebo jiným způsobem, nabízí se zde určitě vhodná kombinace využití přebytků primárních zdrojů energie ve špičkách její výroby. Zpracování takovýchto druhotných surovin v době, kdy máme přebytek relativně čisté energie, a tím významné snížení nároků na energetické vstupy pro tento druh zpracování druhotného materiálu, se jeví jako výhodná symbióza.

Závěr

Bylo by vhodné, aby strategie recyklace a znovupoužití polymerních materiálů byly v současnosti koncipovány reálně a s ohledem na skutečné vlastnosti plastů (polymerů), které jsou dané jejich složením a strukturou. Stejně tak i normy, popisující procentuální podíly recyklovatelných podílů v obalech, by měly začít zohledňovat skutečnost, že materiály opravdu podléhají stárnutí a jejich životní cyklus není nekonečný. Cíle, které si obecně dáváme v oblasti recyklace nejen polymerních obalových materiálů, ale i polymerů obecně, by měly být především realizovatelné a dosažitelné.

Z hlediska výše uvedených skutečností se zdá, že kdekoliv na obalovém materiálu se vyskytne značka nebo informace o tom, že tento polymerní materiál je 100% recyklovaný, vždy by se měl čtenář zamýšlet nad tím, zda v tomto případě není „idea“ o nějaké to procento lepší než „skutečná realita“…

Reference:

[1] Robertson, M. (2014). Sustainability Principles and Practice. London: Routledge, https://doi.org/10.4324/9780203768747

[2] https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data, publikované zprávy za roky 2015 až 2019

[3] Martin Schlummera, Andreas Mäurera, Swetlana Wagnera, Arthur Berranga, Tanja Sieberta, Fabian Knappicha, Recycling of flame retarded waste polystyrene foams (EPS and XPS) to PS granules free of hexabromocyclododecane (HBCDD) Fraunhofer Institute IVV, Recycling Plastics, 85354 Freising, Germany

[4] https://europeanplasticspact.org/

[5] Cirkulární ekonomika a plasty, Ing. Pavlína Kulhánková, přednáška na konferenci SUSCHEM Cirkulární ekonomika, Lázně Bohdaneč 27.11.2018

[6] Crippa, M., De Wilde, B., Koopmans, R., Leyssens, J., Muncke, J., Ritschkoff A-C., Van Doorsselaer, K., Velis, C. & Wagner, M. A circular economy for plastics – Insights from research and innovation to inform policy and funding decisions, 2019 (M. De Smet & M. Linder, Eds.). European Commission, Brussels, Belgium

[7] Franky Puype, Jiří Samsonek, Jan Knoop, Marion Egelkraut-Holtus & Markus Ortlieb (2015): Evidence of waste electrical and electronic equipment (WEEE) relevant substances in polymeric food-contact articles sold on the European market, Food Additives & Contaminants: Part A, DOI: 10.1080/19440049.2015.1009499

[8] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 ze dne 18. prosince 2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES. Úř. věst. L 396, 30.12.2006, s. 1

[9] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2011/65 ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Úř. Věst. L 174/88

[10] Nařízení Komise (EU) č. 284/2011 ze dne 22. března 2011, kterým se stanoví zvláštní podmínky a podrobné postupy dovozu plastového kuchyňského nádobí z polyamidu a melaminu pocházejícího nebo zasílaného z Čínské lidové republiky a čínské zvláštní administrativní oblasti Hongkong, Úř. Věst. L 77/25

[11] F. Wagner, J. Peeters, J. De Keyzer, J. Duflou, W. Dewulf Evaluation of the quality of postconsumer plastics obtained from disassembly-based recycling strategies, Polymer engeneerings and science, 2018, p. 485-492

[12] Wołosiewicz-Głąb, Marta & Pięta, Paulina & Sas, Sebastian & Grabowski, Łukasz. (2017). Plastic waste depolymerization as a source of energetic heating oils. E3S Web of Conferences. 14. 02044. 10.1051/e3sconf/20171402044.

POKROČILÉ METODY KALIBRACE HMOTNOSTI ZÁVAŽÍ

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.

Český metrologický institut

V tomto článku je čtenáři představena metoda rozdělení jednotky hmotnosti na díly a násobky tak, jak je aplikována v laboratoři primární etalonáže hmotnosti Českého metrologického institutu. Část tohoto postupu vychází z projektu EMPIR 19RPT02.

Postupně je rozebrána základní rovnice pro určení hmotnosti závaží včetně ukázky vlivu vybraných korekčních faktorů. S tímto základem jsou pak sestaveny plány měření. Vzhledem k tomu, že konkrétní plán měření může obsahovat velký počet měření, je nutné uvažovat určité korelace mezi vybranými parametry. Vliv vybraných korelací je taktéž ukázán na konkrétních příkladech.

Představená metoda je založena na maticových výpočtech, které jsou obecné, a tak je lze použít i pro výpočet hmotnosti závaží kalibrovaného přímou metodou, tedy závažím o stejné jmenovité hmotnosti. Právě takový příklad tento článek uzavírá.

Projekt EMPIR 19RPT02 „RealMass“

V letech 2020–2023 byl řešen projekt EMPIR 19RPT02 „Improvement of the realisation of mass scale“, zkráceně též „RealMass“. Tohoto projektu se zúčastnilo 11 laboratoří pokrývajících jak laboratoře, kde se kalibrace metodou rozdělení jednotky hmotnosti provádí běžně, tak laboratoře, které tuto metodu aplikovanou doposud nemají a hmotnost závaží kalibrují pouze přímým porovnáním s vlastními etalony o stejné jmenovité hmotnosti. Projekt byl veden Českým metrologickým institutem.

Základním cílem projektu bylo proškolit pracovníky méně rozvinutých institutů v oblasti kalibrací hmotnosti metodou rozdělení jednotky hmotnosti. K tomuto byla uspořádána série školení, zabývajících se základními výpočetními postupy nebo stanovením vhodných postupů zajištění návaznosti. Dále proběhlo pilotní mezilaboratorní porovnání za účasti většiny účastníků projektu s cílem ověřit správnost aplikace jak pracovních postupů, tak výpočetních metod [1]. K výpočtům byl zpracován program „RealMass“ [2].

Jedním z cílů projektu byla příprava kalibrační příručky. Kalibrační příručka vychází jak z jiných kalibračních příruček vydaných EURAMETem (zejména [3]), tak z dalších dokumentů, především pak z dokumentu OIML R111:2004 [4], který se zabývá požadavky na závaží. Právě dokument OIML R111:2004 je široce využíván v laboratořích hmotnosti, a to i na primární úrovni, ale metoda návaznosti jednotky hmotnosti je zde popsána velmi stručně. Nová kalibrační příručka tak vhodně doplní široce používaný dokument OIML R111. Předpokládá se, že plná verze příručky vyjde v roce 2025.

Základní vztah pro porovnání hmotnosti závaží

Základní metody pro rozdělení jednotky hmotnosti na díly a násobky vychází z principu přímého porovnání dvou závaží o stejné jmenovité hmotnosti. V tomto případě je metoda rozšířena tak, že je povoleno použít kombinaci závaží různých jmenovitých hmotností tak, že součty jmenovitých hmotností jsou stejné. Můžeme tak provést porovnání například kombinace dvou závaží o hmotnostech 500 g se závažím o hmotnosti 1 kg.

Každé jednotlivé měření lze popsat pomocí základního vztahu pro vážení

$$\Delta m = \delta m\left(1-\frac{\rho_{a_j}}{\rho_{adj}}\right)+\rho_a\left(\sum V_B-\sum V_A\right)+\delta m_G, \tag{1}$$

kde máme

- Δm – rozdíl hmotností mezi soupravou závaží B a soupravou závaží A,
- δm – indikace komparátoru hmotnosti,
- ρ_{a_j} – hustota vzduchu během justování komparátoru,
- ρ_{adj} – hustota závaží použitého k justování,
- ρ_a – hustota vzduchu při kalibraci,
- $\sum V_B$ – součet objemů soupravy závaží B,
- $\sum V_A$ – součet objemů soupravy závaží A,
- δm_G – korekce výsledku vážení na rozdíl výšky těžišť

Korekce na vztlakovou sílu

Je zřejmé, že kromě rozdílu indikací má významný vliv na měření i vztlaková síla, která závisí na rozdílu objemů závaží a na hustotě vzduchu během měření. Jako příklad můžeme uvést kalibraci hmotnosti závaží z nerezové oceli, jehož objem je V_B = 125,542 cm^3, se státním etalonem hmotnosti, jehož objem je V_A = 46,435cm^3. Obvyklá hustota vzduchu v laboratoři je ρ_a = 1,16 kg/m^3. Odtud máme $\rho_a\,(V_B - V_A)$ = $= 1{,}16 * (125{,}542 - 46{,}435) * 10^{-6} = 91{,}7641$ mg. V laboratoři Oblastního inspektorátu v Jihlavě je obvyklá hustota vzduchu přibližně ρ_a = 1,13 kg/m^3, takže zde by korekce na vztlakovou sílu měla velikost $\rho_a\,(V_B - V_A)$ = 89,3909 mg. Odtud je patrné, že korekce hmotnosti na vztlakovou sílu může být velmi významná.

Korekce objemu závaží na teplotu

Samotné objemy závaží je ještě nutné korigovat na teplotu během měření podle vztahu

$$V = V_{20}\left(1+\alpha\left(T-20\right)\right),$$

kde máme

- V_{20} – objem závaží při teplotě 20 °C,
- α – koeficient teplotní roztažnosti (pro nerezovou ocel se uvažuje $\alpha = 48 * 10^{-6}\text{K}^{-1}$),
- T – teplota při měření v jednotkách °C.

Opět předpokládejme porovnání státního etalonu hmotnosti se závažím z nerezové oceli. Nyní ovšem provedeme měření při teplotě T = 21 °C. Koeficient teplotní roztažnosti pro slitinu platiny a iridia je $\alpha = 26 * 10^{-6}\text{K}^{-1}$. Velikost korekce na vztlakovou sílu je v tomto případě

$\rho_a (V_B - V_A)$ = 91,7697 mg. Vidíme, že při zanedbání teploty bychom se dopustili chyby o velikosti přibližně 0,005 mg.

Korekce výškového rozdílu těžišť

Další vliv, který lze při kalibraci obecně uvažovat, je výškový gradient tíhového zrychlení. Příslušná korekce má tvar

$$\delta m_G = m_N \left[\frac{\Delta g}{g} \left(h_A - h_B \right) \right], \tag{2}$$

kde máme

- m_N – porovnávaná jmenovitá hmotnost soupravy závaží,
- $\frac{\Delta g}{g}$ – gradient tíhového zrychlení,
- h_A, resp. h_B – výška těžiště soupravy závaží A, resp. B od vážicí misky.

Tato korekce má velikost přibližně 3 µg na 1 kg a 1 cm rozdílu výšky těžišť. Pokud například porovnáme soustavu dvou závaží o hmotnostech 500 g, přičemž jednou jsou závaží položena vedle sebe a podruhé na sobě, velikost korekce je přibližně 5 µg. Analogicky při porovnání státního etalonu ze slitiny PtIr a závaží z nerezové oceli je velikost korekce na gradient tíhového zrychlení přibližně 4 µg.

Justování komparátoru

Aby váha ukazovala v jednotkách hmotnosti, provádí se proces označovaný jako justování rozsahu nebo justování váhy. Proces probíhá tak, že se odečte rozdíl mezi prázdnou miskou a miskou zatíženou závažím o známé hmotnosti a nastaví se, že daný rozdíl odpovídá hmotnosti použitého závaží. Dále se obvykle uvažuje, že závislost indikace na použitém zatížení je v celém rozsahu lineární. Pokud jsou pochybnosti o linearitě stupnice, je nutné použít jiná závaží o menší hmotnosti pro zúžení předpokladu linearity do menších úseků.

Justování komparátoru můžeme popsat vztahem

$$K\left(I_j - I_0\right) = M_j - V_j \rho_{aj} = M_j \left(1 - \frac{\rho_{aj}}{\rho_j} \right),$$

kde máme

- K – konstanta justování,
- I_0, resp. I_j – indikace komparátoru při nulovém zatížení a při zatížení závažím použitého k justování komparátoru,
- M_j, V_j, ρ_j – hmotnost, objem a hustota závaží použitého k justování komparátoru,
- ρ_{aj} – hustota vzduchu během justování.

Při justování lze obvykle nastavit rovnost I_j - I_0 = M_j. Pro konstantu justování máme vztah $K = 1 - \frac{\rho_{aj}}{\rho_j}$.

Matematický popis metody rozdělení jednotky hmotnosti

V předchozí části byl stručně popsán vztah pro vyhodnocení porovnání dvou závaží s uvažovanou korekcí na vztlakovou sílu, gradient tíhového zrychlení a podmínky při justování použitého komparátoru. V této části bude rozebrán model pro porovnání soupravy závaží a posléze metody výpočtu hmotnosti závaží a určení nejistot.

Porovnání soupravy závaží probíhá jako série jednotlivých porovnání závaží a souprav závaží, přičemž pro každé jednotlivé měření je potřeba provést zmiňované korekce na vztlakovou sílu a gradient tíhové síly. Takto lze získat soustavu rovnic pro neznámé hodnoty hmotnosti závaží. Obvykle bývá provedeno více měření, než je počet závaží s neznámou hmotností, což lze využít pro zisk přesnějších hodnot hmotnosti nebo pro detekci a eliminaci potenciálně nevyhovujících hodnot měření. Důvodem pro vyšší počet měření může být také složení použitých sad závaží.

Jednotlivá měření můžeme rozepsat způsobem

$$-m_E + m_{500_1} + m_{500_2} = \delta m_1 + \left(V_E - V_{500_1} + V_{500_2} \right) \rho_{a_1}, \tag{3}$$

$$-m_{500_1} + m_{500_2} = \delta m_2 + \left(V_{500_1} - V_{500_2} \right) \rho_{a_2}, \tag{4}$$

kde pro jednoduchost není uveden korekční člen pro gradient tíhového zrychlení. Takový systém rovnic popisuje kalibraci hmotnosti dvou závaží o jmenovitých hmotnostech 500 g, přičemž jako etalon je použito závaží o hmotnosti 1 kg.

Takovou soustavu rovnic lze popsat maticovým vztahem

$$X_w m = y_w + \epsilon, \tag{5}$$

kde máme

- X_w – matice popisující plán měření,
- m – vektor hmotností závaží, které chceme určit,
- y_w – vektor obsahující výsledky měření včetně korekcí,
- ϵ – vektor náhodných chyb.

Matice X_w obsahuje pouze prvky +1, -1 a 0 podle toho, jak je které závaží použito při měření. Ve výše uvedeném příkladu tak je

$$X_w = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Podobně vektor hmotností závaží je

$$m = \begin{pmatrix} m_E \\ m_{500_1} \\ m_{500_2} \end{pmatrix}$$

a vektor výsledků

$$y_w = \begin{pmatrix} \delta m_1 + \left(V_E - V_{500_1} - V_{500_2} \right) \rho_{a_1} \\ \delta m_2 + \left(V_{500_1} - V_{500_2} \right) \rho_{a_2} \end{pmatrix}.$$

Takto sestavený systém rovnic ještě není možné řešit, ještě je nutné přidat hodnotu hmotnosti etalonového závaží jako poslední rovnici. Systém rovnic lze řešit tak, aby vektor náhodných chyb byl minimální, tedy metodou nejmenších čtverců. Příslušný vztah má tvar

$$\hat{m} = \left(X_w^T \Psi_y^{-1} X_w \right)^{-1} X_w^T \Psi_y^{-1} y_w \tag{6}$$

s kovariančí maticí příslušející vektoru výsledků. Kovariančí matice takto získaného odhadu hmotností závaží má tvar

$$\Psi_m = \left(X_w^T \Psi_y^{-1} X_w \right)^{-1}. \tag{7}$$

Vyhodnocení nejistot

Při kalibraci hmotnosti závaží se obvykle uvažují nejistoty vyplývající z měření a hmotnosti etalonu, případně i z objemu závaží a hustoty vzduchu. Při kalibraci hmotnosti nižších tříd přesnosti je to zcela postačující, nicméně jak vyplývá z již uvedených vztahů, je nutné uvážit některé další vlivy.

Kovarianční matice Ψ_y obsahuje všechny nejistoty a kovariance vstupující do výpočtu hmotnosti. Lze ji získat z jednotlivých kovariančních matic

- $\Psi_{\delta m}$ – kovarianční matice rozdílů indikací hmotnostních komparátorů,
- $\Psi_{\rho a}$ – kovarianční matice hustoty vzduchu,
- $\Psi_{\Delta V}$ – kovarianční matice rozdílů objemů závaží,
- Ψ_{ref} – kovarianční matice etalonových závaží.

Pokud předpokládáme, že všechna měření jsou nezávislá, je kovarianční matice $\Psi_{\delta m}$ diagonální. Jednotlivé hodnoty jsou určeny ze směrodatné odchylky měření, rozlišení komparátoru, excentricity a linearity.

Vzhledem k tomu, že hustota vzduchu je obvykle určena stejnými snímači teploty, tlaku a vlhkosti, musíme předpokládat určitou míru korelace získaných hodnot. Korelační koeficient je v případě hustoty vzduchu obvykle v rozmezí $0{,}5 < r_{\rho a} < 0{,}9$. Na základě zkušeností nebo dalších informací lze získat přesnější odhady korelačního koeficientu mezi jednotlivými hodnotami hustoty vzduchu.

Kovariance mezi hodnotami hustoty vzduchu se s pomocí korelačního koeficientu je

$$u\left(\rho_{a_i},\rho_{a_j}\right)=r_{\rho_{a_{i,j}}}u\left(\rho_{a_i}\right)u\left(\rho_{a_j}\right)\approx r_{\rho_a}u^2\left(\rho_a\right). \tag{8}$$

Při určité míře zjednodušení můžeme předpokládat stejnou hodnotu korelačního koeficientu a stejnou hodnotu nejistoty hustoty vzduchu.
Kovarianční matice již není diagonální a má tvar

$$Cov_{\rho_a}=\begin{pmatrix} u^2\left(\rho_a\right) & r_{\rho_a}u^2\left(\rho_a\right) & \cdots & r_{\rho_a}u^2\left(\rho_a\right) \\ \vdots & u^2\left(\rho_a\right) & \vdots & r_{\rho_a}u^2\left(\rho_a\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ SYM & \cdots & \cdots & u^2\left(\rho_a\right) \end{pmatrix}, \tag{9}$$

kde *SYM* označuje skutečnost, že kovarianční matice je symetrická.

Celkově má kovarianční matice hustoty vzduchu tvar

$$\Psi_{\rho_a}=\begin{pmatrix} \Delta V_1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & \Delta V_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & \Delta V_n \end{pmatrix} Cov_{\rho_a} \begin{pmatrix} \Delta V_1 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & \Delta V_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & \Delta V_n \end{pmatrix}. \tag{10}$$

Obdobně získáme kovarianční matici odpovídající objemům použitých závaží. Obvykle lze uvažovat korelaci mezi objemy závaží nulovou, ovšem při znalosti příslušných korelací je lze do příslušné kovarianční matice podle potřeby doplnit.

Kovarianční matice příslušející objemům závaží má tvar

$$\Psi_{\Delta V}=\begin{pmatrix} \rho_{a_1} & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & \rho_{a_2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & \rho_{a_n} \end{pmatrix} X_w \begin{pmatrix} u^2\left(V_1\right) & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & u^2\left(V_2\right) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & u^2\left(V_m\right) \end{pmatrix} * \\ * \left(\begin{pmatrix} \rho_{a_1} & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & \rho_{a_2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \ldots & \rho_{a_n} \end{pmatrix} X_w \right)^T. \tag{11}$$

V případě použití metody rozdělení jednotky hmotnosti podle zde uváděného postupu je možné použít více referenčních závaží, a proto pro kovarianční matici etalonových závaží musíme uvážit kromě nejistoty samotných etalonů i vzájemné korelace hmotnosti, které v důsledku aktuálního stavu zavádění nové definice jednotky hmotnosti nejsou zanedbatelné. Pokud například použijeme dvě závaží o hmotnosti 1 kg, jejich vzájemná korelace bude mít velikost alespoň $u(m_1,m_2) = (0{,}02)^2\ mg^2$, což odpovídá druhé mocnině nejistoty vyplývající z druhé fáze zavádění nové definice jednotky hmotnosti do praxe. Informace k nové definici jednotky hmotnosti, kde jsou uvedené nejistoty v jednotlivých fázích, jsou v článcích [5] a [6].

Celková kovarianční matice příslušející etalonovým závažím je

$$\Psi_{ref}=\begin{pmatrix} u^2\left(m_{E_1}\right) & u\left(m_{E_1},m_{E_2}\right) & \cdots \\ u\left(m_{E_1},m_{E_2}\right) & u^2\left(m_{E_2}\right) & \cdots \\ \vdots & \vdots & u^2\left(m_{E_k}\right) \end{pmatrix}. \tag{12}$$

Poslední druh korelace, který lze při kalibraci hmotnosti soupravy závaží uvažovat, je korelace mezi hmotností a objemem etalonových závaží. Ta je dána vztahem

$$u\left(m,V\right)=\rho_{a_E}u^2\left(V\right), \tag{13}$$

kde je ρ_{a_E} hustota vzduchu, při které byla kalibrována hmotnost daného etalonu.

Můžeme pak uvážit korelaci mezi hmotností etalonu a rozdílem indikací komparátoru při porovnání, kde byl daný etalon použit, podle vztahu

$$u\left(\Delta m,m_E\right)=\rho_a u\left(m,V\right) \tag{14}$$

se stejným znaménkem, jaké má prvek matice příslušející danému etalonu a danému měření. Takto můžeme sestavit kovarianční matici $\Psi_{\Delta m}$.

Celkově tak získáme

$$\Psi_y=\begin{pmatrix} \Psi_{\delta m}+\Psi_{\rho a}+\Psi_{\Delta V} & \Psi_{\Delta m} \\ \Psi_{\Delta m}^T & \Psi_{ref} \end{pmatrix}. \tag{15}$$

Přepočet skutečné hmotnosti na konvenční hmotnost

Předchozí vztahy byly platné pro skutečné hmotnosti závaží. V praxi se častěji používá konvenční hmotnost [7], ale

při správném použití kovariančních členů lze provést převod na skutečnou nebo naopak na konvenční hmotnost.

Obecný vztah pro převod mezi skutečnou a konvenční hmotností má tvar

$$m_C\left(1-\frac{\rho_0}{\rho_C}\right)=m\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)=m-V\rho_0, \qquad (16)$$

přičemž

- $\rho_0 = 1{,}2$ kg/m³
- $\rho_C = 8000$ kg/m³

Pro nejistoty platí

$$u^2\left(m_C\right)=u^2\left(m\right)+\left[\left(\rho_{a_E}-\rho_0\right)^2-\rho_{a_E}^2\right]u^2\left(V\right). \qquad (17)$$

Užitím posledního vztahu můžeme převádět nejistotu konvenční hmotnosti na skutečnou hmotnost a naopak. Analýzou můžeme zjistit, že při kalibraci v běžných podmínkách ve vzduchu je nejistota konvenční hmotnosti nižší než nejistota skutečné hmotnosti. Ačkoliv na první pohled se může zdát, že by nejistota skutečné hmotnosti měla být nižší, ve skutečnosti měření probíhá v podmínkách, které jsou blíže konvenční hustotě vzduchu, a proto je nejistota konvenční hmotnosti nižší. V případě, že by měření probíhalo při hustotě vzduchu $\rho_a = 0{,}6$ kg/m³ byla by nejistota hmotnosti i konvenční hmotnosti stejná.

Příklad

Uvedené výpočty jsou natolik obecné, že je lze využít jak pro kalibraci celé soupravy závaží (například až 380 rovnic pro 60 závaží), tak pro kalibraci jednoho závaží. Zde uvedeme příklad kalibrace závaží o jmenovité hmotnosti 1 kg.

Mějme etalonové závaží tř. E_2 s konvenční hmotností $m_{E_C} = 1\,\text{kg} - 0{,}2\,\text{mg} \pm 0{,}25$ mg. Jeho hustota je $\rho_E = 7950$ kg/m³ ± ± 50 kg/m³. Budeme kalibrovat závaží z nerezové oceli, jehož hustota je $\rho_m = 8000$ kg/m³ ± 140 kg/m³. Etalonové závaží bylo kalibrováno při hustotě vzduchu $\rho_{a_E} = 1{,}18$ kg/m³ tato kalibrace probíhá při hustotě vzduchu $\rho_a = 1{,}16$ kg/m³ ± ± 0,01 kg/m³. Hmotnostní komparátor ukázal rozdíl $\delta m = 0{,}5$ mg ± 0.005 mg. Teplota vzduchu je 20 °C, takže není potřeba provádět další korekce na teplotu. Komparátor hmotnosti byl justován závažím o hustotě $\rho_j = 8000$ kg/m³ při hustotě vzduchu $\rho_{a_j} = 1{,}16$ kg/m³.

Ze zadaných parametrů můžeme určit skutečnou hmotnost, resp. nejistotu skutečné hmotnosti etalonového závaží podle vztahu (16), resp. (17).

Získáme tak $m_E = 1$ kg + 0,74 mg ± 0,97 mg. Objem etalonového závaží je $V_E = 125{,}79$ cm³ ± 0,80 cm³. Ze vztahu (13) určíme kovarianci mezi objemem a hmotností etalonu $u\left(m_E, V_E\right) = 0{,}74\,\text{kg} * \text{m}^3$. Objem neznámého závaží můžeme odhadnout na $V_{1\text{kg}} = 125{,}00$ cm³ ± 2,20 cm³.

Matice plánu měření rozšířená o řádek obsahující etalon je

$$X_w=\begin{pmatrix}-1 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix}.$$

Vektor hmotností je

$$m=\begin{pmatrix}m_E\\ m_{1kg}\end{pmatrix}.$$

Rozdíl indikací musíme upravit o vztlakovou sílu podle vztahu (1). Získáme tak

$$\Delta m = 0{,}5\,\text{mg} * \left(1-\frac{1{,}16\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{8000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}\right)+\left(125\,\text{cm}^3-125{,}79\,\text{cm}^3\right)*$$

$$*1{,}16\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}=-0{,}412\,\text{mg}.$$

Celkový vektor výsledků je rozšířený o hmotnost etalonu

$$y_w=\begin{pmatrix}-0{,}412\,\text{mg}\\ 1\ \text{kg}+0{,}74\,\text{mg}\end{pmatrix}.$$

Potřebujeme ještě stanovit kovarianční matici.

$$\Psi_{\delta m}=\left(0{,}005\,\text{mg}\right)^2$$

$$\Psi_{\rho_a}=\left(0{,}79\,\text{cm}^3\right)*\left(0{,}01\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)^2*\left(0{,}79\,\text{cm}^3\right)=\left(0{,}0079\,\text{mg}\right)^2$$

$$\Psi_{\Delta V}=1{,}16\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}*\begin{pmatrix}-1 & 1\end{pmatrix}*\begin{pmatrix}0{,}80\,\text{cm}^3 & 0\\ 0 & 2{,}20\,\text{cm}^3\end{pmatrix}*$$

$$*\left(1{,}16\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}*\begin{pmatrix}-1 & 1\end{pmatrix}\right)^T=\left(2{,}72\,\text{mg}\right)^2$$

$$\Psi_{ref}=\left(0{,}97\,\text{mg}\right)_2$$

$$\Psi_{\Delta m}=-1{,}16\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}*0{,}74\,\text{kg}*\ \text{m}^3=-0{,}86\,\text{mg}^2$$

Odtud získáme

$$\Psi_{yw}=\begin{pmatrix}\left(0{,}005\,\text{mg}\right)^2+\left(0{,}0079\,\text{mg}\right)^2+\left(2{,}72\,\text{mg}\right)^2 & -0{,}86\,\text{mg}^2\\ -0{,}86\,\text{mg}^2 & \left(0{,}97\,\text{mg}\right)^2\end{pmatrix}=$$

$$=\begin{pmatrix}7{,}374*10^{-12} & -8{,}6*10^{-13}\\ -8{,}6*10^{-13} & 9{,}34*10^{-13}\end{pmatrix}\text{kg}^2.$$

Nyní již můžeme spočítat podle vztahu (6)

$$\hat{m}=\begin{pmatrix}1\,\text{kg}+0{,}74\,\text{mg}\\ 1\,\text{kg}+0{,}33\,\text{mg}\end{pmatrix}$$

a kovarianční matici podle vztahu (7)

$$\Psi_m=\begin{pmatrix}9{,}34*10^{-13} & 7{,}7*10^{-14}\\ 7{,}7*10^{-14} & 6{,}51*10^{-12}\end{pmatrix}\text{kg}^2.$$

Odkud získáme nejistotu skutečné hmotnosti měřeného závaží $u_{1\text{kg}}=\sqrt{6{,}51*10^{-12}\,\text{kg}^2}=2{,}6$ mg.

Nyní můžeme přepočítat hodnotu hmotnosti i nejistoty na konvenční hmotnost a její nejistotu.

$$m_{1\text{kg}_C}=1\,\text{kg}+0{,}33\,\text{mg}\pm 0{,}27\,\text{mg}$$

Shrnutí

V tomto příspěvku byly ukázány základní výpočetní postupy pro kalibraci hmotnosti závaží metodou rozdělení jednotky hmotnosti včetně určení nejistot. Problematika je poměrně náročná a v praxi při kalibracích hmotnosti závaží bude využívána pouze pro závaží nejvyšších tříd přesnosti. Na druhou stranu maticový přístup umožňuje použít jeden obecný výpočet pro celou oblast kalibrací hmotnosti.

Výpočty byly předvedeny na příkladu kalibrace hmotnosti jednoho závaží o hmotnosti 1 kg. V praxi již byly výpočty aplikovány na soustavu více než 300 měření a více než 50 závaží. Metody byly validovány jinými výpočty a také mezilaboratorním porovnáním, kde všechny laboratoře používaly speciální výpočetní program připravený na míru dané problematice.

Celá práce na kalibrační příručce proběhla díky projektu EMPIR 19RPT02 „Improvement of the realisation of the mass scale“, který proběhl v letech 2020–2023.

Literatura

[1] S. Alisic, „Pilot study: Comparison for the realisation of the mass scale“. Viděno: 12. září 2024. [Online]. Dostupné z: https://www.euramet.org/technical-committees/tc-projects/details/project/pilot-study-comparison-for-the-realisation-of-the-mass-scale

[2] A. Malengo a D. Torchio, *RealMass*. (únor 2024). INRIM. [Online]. Dostupné z: https://www.inrim.it/en/services/software-and-databases/realmass-calibration-software

[3] S. Davidson *et al.*, „Guidelines on the Calibration of Non-Automatic Weighing Instruments“. Euramet e.V., 1. listopad 2015. [Online]. Dostupné z: https://www.euramet.org/download?tx_eurametfiles_download%5Baction%5D=download&tx_eurametfiles_download%5Bcontroller%5D=File&tx_eurametfiles_download%5Bfiles%5D=25228&tx_eurametfiles_download%5Bidentifier%5D=%252Fdocs%252FPublications%252Fcalguides%252FI-CAL-GUI-018_Calibration_Guide_No._18_web.pdf&cHash=393e9ee7a43d00528617779909c0e43a

[4] „Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1–2, M2, M2–3 and M3“. BIML, 2004. [Online]. Dostupné z: https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r111-1-e04.pdf

[5] J. Zůda, „Zavádění nové definice základní jednotky hmotnosti“, *Metrologie*, roč. 2020, č. 4, s. 33–36, [Online]. Dostupné z: https://www.unmz.cz/wp-content/uploads/Metrologie-4-20-small-www.pdf

[6] J. Zůda, „Aktualita k zavádění nové definice jednotky hmotnosti“, *Metrologie*, roč. 2021, č. 2, s. 30–32, [Online]. Dostupné z: https://www.unmz.cz/wp-content/uploads/Metrologie-2-21-small-www.pdf

[7] „OIML D28:2004 Conventional value of the result of weighing in air“. BIML, 2004. [Online]. Dostupné z: https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d028-e04.pdf

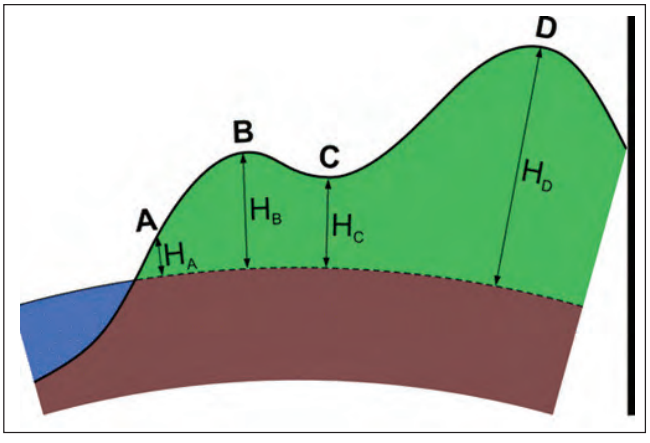
♦ ♦ ♦

NADMOŘSKÁ VÝŠKA

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Nadmořská výška na hranici zemí

Nadmořská výška je údaj, kterým lidé popisují svislou vzdálenost daného místa od hladiny moře (**obr. 1**). Je definována jako svislá vzdálenost (výškový rozdíl) určitého místa na Zemi ke střední hladině některého moře (obvykle nejbližšího nebo toho, k němuž se vztahuje místní výškový systém). Udává se v metrech nad mořem (m n. m. - protože je první písmeno m ve zkratce označení jednotky SI, píše se tedy správně bez tečky).



Obr. 1: Měření nadmořské výšky

Pro rozdíl dvou nadmořských výšek užíváme termín převýšení.

Problém s výpočtem nadmořské výšky je starý dlouhá staletí. Skoro každý stát ji totiž vypočítává k hladině jiného moře. Třeba u nás se používá moře Baltské. V Německu je to moře Severní a v Rakousku zase Jaderské apod.

V naší zemi moře nemáme, proto se není co divit, že i místo, podle kterého určujeme nadmořskou výšku, se v průběhu času měnilo. V současnosti je nadmořská výška v naší republice udávána ve vztahu k hladině Baltského moře. Za dob císaře Františka Josefa I. se ještě brala jako nultý bod střední hladina Jaderského moře v přístavu Terst. Změna moří přišla v roce 1955, a tak se všechny dříve naměřené kóty posunuly o 0,46 metru níže.

Fakt, že Země není pravidelná, vede sám o sobě i k rozdílům ve výšce hladin v různých částech světa. K tomu se

přidávají další dočasné výkyvy způsobené např. počasím (větrem vyvolanými vlnami) nebo gravitačními vlivy Měsíce a Slunce. Dlouhodobě se pak do hry zapojují faktory, jako je změna klimatu způsobující tání ledovců či změna objemu vody a změny teploty vedoucí k oceánskému proudění. Tyto prvky dohromady způsobují ony rozdíly ve výšce hladin moří.

Výška střední hladiny moře se stanoví dlouhodobým pravidelným pozorováním přílivů a odlivů v určitém místě na pobřeží. Od takto získaného bodu se měří nadmořské výšky (absolutní výšky) dalších bodů zemského povrchu. Nadmořské výšky v České republice jsou tedy udávány vůči hladině Baltu po vyrovnání. Jako baltský po vyrovnání (zkratkou Bpv) se označuje výškový systém používaný v Česku i dalších zemích. Jeho výchozím bodem (bodem s nulovou nadmořskou výškou) je nula na břehu Baltského moře v Kronštadtu (nedaleko Petrohradu). Bpv je dnes jediným závazným geodetickým výškovým systémem v Česku.

V současnosti všeobecně využívaný globální družicový polohový systém pro určování polohy na zemi používá jako základní hladinu povrch matematicky vypočteného elipsoidu WGS 84, který se může od střední hladiny moře (resp. od geoidu) lišit i o 100 metrů, ale to už je nad rozsah tohoto textu.

V letectví se ve vzdušném prostoru určuje nadmořská výška nepřímo tlakoměrem či přímo měřením výšky nad zemí.

Význam nadmořské výšky

Obr. 2: Výškopisný bod

Obr. 3: Nivelační přístroj a nivelační lať

Proč je důležité znát nadmořskou výšku? Asi nejvýrazněji v běžném životě ji oceníme při plánování výletů. Je značný rozdíl, když na dvoukilometrové trase nastoupáme převýšení 1 metr nebo 1 kilometr. Je to důležité i ve vztahu k počasí a změnám teploty. Na každých 100 výškových metrů se vzduch ochlazuje průměrně o 1°C. Pokud je ale vlhké počasí a vzduch je nasáklý vodou, pak se jedná pouze o 0,6 °C. V neposlední řadě má nadmořská výška velký význam při plánování staveb nebo v letectví.

Po celém území státu jsou rozmístěny v nivelační síti výškopisné body (**obr. 2**), které jsou označeny pomocí čepových značek. Výškopisné body jsou základem výškového vytýčení stavby. Princip měření výšek je založen na měření výškových rozdílů dvou nebo více bodů.

Obr. 4: Pod mostem na obrázku prochází hranice mezi německou a švýcarskou části města Laufenburg

K měření výšek se u staveb používá nivelační přístroj (**obr. 3**) nebo geodetický laser.

Uvedu zde příklad významu správného určení nadmořské výšky. Při stavbě mostů se může pokazit mnoho věcí. Co se například stane s mostem, když jedna strana mostu využívá ke stanovení výšky hladinu Středozemního moře a druhá Severního moře? Obyvatelé německé a švýcarské části Laufenburgu (**obr. 4**) se těšili na nový most přes řeku Rýn, když je zaskočila trapná chyba: odlišné výšky obou mostních částí rostoucích při stavbě proti sobě. Když se obě části mostu setkaly, lišily o 54 výškových centimetrů. Někdo ve výškových sítích Švýcarska a Německa zahrnul do výpočtu známý výškový rozdíl 27 centimetrů chybně (protože Němci odkazují na hladinu Severního moře, zatímco Švýcaři na hladinu moře Středozemního moře), takže rozdíly byly místo odečtení zdvojnásobeny. Nebylo to poprvé ani naposled, kdy byla známá korekce použita špatně.

Další příklad je přímo z České republiky a ukazuje, jak se s jinou nadmořskou výškou dá špatně postavit dům.

V Dobrušce stojí budova, při jejíž výstavbě projektant použil po roce 1955 nadmořskou výšku vztaženou k Jaderskému moři a ne k Baltskému, takže budova je proti ostatním domům „utopená v zemi“ o 46 centimetrů.

Zdroje:

[1] https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/cesti-vedci-prepocitali-nadmorskou-vysku-snezka-by-povyrostla-o-19-cm.A110204_1526746_hradec-zpravy_klu
[2] https://napovime.cz/navod/jak-zjistit-nadmorskou-vysku/
[3] https://cs.wikipedia.org/wiki/Nadmo%C5%99sk%C3%A1_v%C3%BD%C5%A1ka

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI – PŘINÁŠÍ NOVINKY ZE SVĚTA TECHNICKÝCH NOREM

Ing. Miroslav Čermák

Zdroj: Česká agentura pro standardizaci

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI

Během začátku druhého pololetí roku 2024 byly vydány tyto technické normy v oblasti elektrických spotřebičů pro domácnost, elektroenergetiky, elektrotechniky v dopravě a inteligentních dopravních systémů, elektrických instalací, přístrojů, stavebnictví a dalších technických oblastech:

Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely

ČSN EN IEC 60335-2-2 ed. 4 ***Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-2: Zvláštní požadavky na vysavače a úklidové spotřebiče vysávající vodu***

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických vysavačů a úklidových spotřebičů vysávajících vodu pro domácnost a podobné účely, včetně vysavačů pro ošetřování zvířat, jejichž jmenovité napětí nepřesahuje 250 V. Platí také pro centrálně umístěné vysavače a automatické bateriové úklidové spotřebiče. Tato norma také platí pro čisticí hlavy s motorem a hadice vedoucí proud, připojené ke zvláštnímu vysavači. V rozsahu platnosti této normy jsou spotřebiče na baterie a ostatní stejnosměrné spotřebiče. Spotřebiče s dvojím napájením, které jsou napájeny buď z napájecí sítě, nebo z baterie, se považují za spotřebiče na baterie, jestliže jsou v provozu v režimu napájení z baterie. Tato norma také platí pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální používání v domácnostech, ale mohou přesto představovat zdroj nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro používání neznalými osobami v obchodech a dalších zařízeních pro účely normálního úklidu.

ČSN EN IEC 60335-2-4 ed. 4 (36 1050) ***Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-4: Zvláštní požadavky na odstředivky prádla***

Tato norma se zabývá bezpečností samostatně stojících elektrických odstředivek prádla a odstředivek prádla vestavěných v pračkách, které mají oddělené nádoby pro praní a odstřeďování pro domácnost a podobné účely, které mají obsah nepřesahující 10 kg suchého prádla a obvodovou rychlost bubnu menší než 50 m/s, jejichž jmenovitá napětí nejsou vyšší než 250 V u jednofázových spotřebičů a 480 V u ostatních spotřebičů. Tato norma také platí pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální používání v domácnostech, ale mohou přesto představovat zdroj nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro používání neznalými osobami v obchodech, lehkém průmyslu a zemědělství a ve společných prádelnách v činžovních domech nebo v samoobslužných prádelnách.

ČSN EN IEC 60335-2-14 ed. 4 (36 1050) ***Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-14: Zvláštní požadavky na kuchyňské strojky***

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických kuchyňských strojků pro domácnost a podobné účely, jejichž jmenovité napětí není větší než 250 V. Příklady spotřebičů, které jsou v rozsahu platnosti této normy: kráječe fazolí; lisy na bobulové ovoce; mixéry; otvírače konzerv; odšťavňovače; máselnice; lisy na citrusové ovoce; mlýnky na kávu s objemem násypky nepřesahujícím 500 g; šlehače smetany; šlehače vajec; hnětače-šlehače; strojky pro přípravu a zpracování potravin; mlýnky na obilí s objemem násypky nepřesahujícím 3 l; strouhače; zmrzlinové strojky, včetně strojků, které se používají v chladničkách a mrazničkách; strojky na broušení nožů; nože; mlýnky na maso; strojky na nudle; škrabače brambor; kráječe; prosévací strojky; krájecí strojky. Tato norma platí také pro spotřebiče pro normální používání v domácnosti, které rovněž mohou používat neznalé osoby v obchodech, lehkém průmyslu a zemědělství. Pokud je však spotřebič určen pro profesionální použití při přípravě potravin pro komerční spotřebu, nepovažuje se tento spotřebič pouze za spotřebič pro domácnost a podobné použití.

ČSN EN IEC 60335-2-40 ed. 3 (36 1050) ***Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-40: Zvláštní požadavky na elektrická tepelná čerpadla, klimatizátory vzduchu a odvlhčovače***

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických tepelných čerpadel, včetně tepelných čerpadel pitné horké vody, klimatizátorů vzduchu a odvlhčovačů, které obsahují motorkompresory a jednotky teplovodních výměníků s ventilátorem, jejichž jmenovitá napětí nejsou vyšší než 250 V u jednofázových spotřebičů a 600 V u ostatních spotřebičů. V rozsahu platnosti této normy jsou také dílčí jednotky. Tato norma také platí pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální používání v domácnostech, ale mohou přesto představovat zdroj nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro používání neznalými osobami v obchodech, lehkém průmyslu a v zemědělství. Výše uvedené spotřebiče mohou být sestaveny z jednoho nebo více továrně vyrobených montážních celků. Pokud jsou tyto spotřebiče dodávány ve více než jednom montážním celku, musí se tyto oddělené montážní celky používat společně a požadavky vycházejí z používání sestavených montážních celků.

ČSN EN IEC 60335-2-60 ed. 3 (36 1050) ***Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-60: Zvláštní požadavky na vířivé vany a vířivé lázně***

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických vířivých van pro vnitřní používání a vířivých lázní pro domácnost a podobné účely, jejichž jmenovité napětí nepřesahuje 250 V u jednofázových spotřebičů a 480 V u ostatních spotřebičů. Tato norma rovněž platí pro spotřebiče pro cirkulaci vzduchu nebo vody v běžných vanách. Norma také platí pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální používání v domácnostech, ale mohou přesto představovat zdroj nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro používání neznalými osobami v hotelích, fitness centrech a podobných místech.

Informační technologie

ČSN ISO/IEC 27035-1 ***Informační technologie – Management incidentů informační bezpečnosti – Část 1: Principy a proces***

Tato norma je základem souboru norem ČSN ISO/IEC 27035. Představuje základní koncepty, principy a proces s klíčovými činnostmi managementu incidentů informační bezpečnosti, které poskytují strukturovaný přístup k přípravě na incidenty, jejich detekci, podávání zpráv o incidentech, posuzování incidentů a odezvě na incidenty a uplatňování získaných poznatků.

ČSN ISO/IEC 27035-2 ***Informační technologie – Management incidentů informační bezpečnosti – Část 2: Směrnice pro plánování a přípravu odezvy na incidenty***

Tato norma obsahuje směrnice pro plánování a přípravu odezvy na incidenty a poučení se z odezvy na incidenty. Směrnice vycházejí z fází „plánování a přípravy“ a „poučení se“ modelu fází managementu incidentů informační bezpečnosti uvedeného v ČSN ISO/IEC 27035-1:2024, 5.2 a 5.6.

Elektroenergetika

ČSN EN 50110-1 ed. 4 ***Obsluha a práce na elektrických zařízeních – Část 1: Obecné požadavky***

Tato část souboru EN 50110 stanovuje požadavky na bezpečný provoz a pracovní činnosti na těchto elektrických instalacích nebo v jejich blízkosti. Tyto požadavky se týkají všech činností, tj. obsluhy, práce a údržby. Norma je vydána v anglickém jazyce, překlad do českého jazyka se připravuje.

ČSN EN 50110-2 ed. 4 ***Obsluha a práce na elektrických zařízeních – Část 2: Národní dodatky***

Tato část souboru EN 50110 je souhrnem legislativních dokumentů a národních technických norem, které řeší nebo upravují problematiku elektrotechniky a energetiky v jednotlivých členských státech CENELEC. Norma je vydána v anglickém jazyce, kapitola 6 týkající se České republiky je vydána v českém i anglickém jazyce.

ČSN EN IEC 62208 ed. 3 ***Prázdné skříně pro rozváděče nízkého napětí – Obecné požadavky***

Tato norma platí pro prázdné skříně dodané výrobcem skříně před zabudováním součástí spínacích a řídicích zařízení výrobcem rozváděče, stanoví obecné definice, třídění, charakteristiky a požadavky na zkoušky skříní, které mají být používány jako součást rozváděčů (např. v souladu s výrobkovými normami souboru IEC 61439), jejichž jmenovité napětí nepřekračuje 1000 V AC nebo 1500 V DC, a které jsou vhodné pro obecné použití pro vnitřní i venkovní aplikace.

ČSN EN IEC 62271-103 ed. 2 ***Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 103: Spínače střídavého proudu pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV včetně***

Tato norma platí pro třífázové spínače a odpínače vnitřního a venkovního provedení na střídavý proud, které jsou schopny vypínat a zapínat proud pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV a pro jmenovité kmitočty od 16 2/3 Hz do 60 Hz včetně. Tento dokument také platí pro jednopólové spínače použité ve třífázových sítích, pro pohony těchto spínačů a jejich pomocná zařízení. Předmětem tohoto dokumentu nejsou přístroje vyžadující závislé ruční ovládání, uzemňovače a kombinace spínačů s pojistkami VN uváděné v činnost funkcí pojistky.

Obecné zásady a předpisy této normy mohou být také použity pro jednopólové spínače určené pro provoz v jednofázových sítích. Požadavky na zkoušky elektrické pevnosti izolace a na zapínací a vypínací zkoušky by měly odpovídat požadavkům konkrétního použití. Tento dokument stanoví požadavky pro spínače obecného použití, omezeného použití a zvláštního použití používané v distribučních sítích.

ČSN EN IEC 62271-105 ed. 3 ***Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení – Část 105: Kombinace spínače s pojistkami na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1 kV do 52 kV včetně***

Tato norma platí pro trojpólové jednotky pro veřejné a průmyslové rozvodné sítě, které jsou funkčními sestavami spínačů zahrnujícími spínače nebo odpínače a omezující pojistky se schopností vypínat jakýkoliv proud až do hodnoty jmenovitého zkratového vypínacího proudu při jmenovitém napětí a zapínat při jmenovitém napětí obvody, pro které platí jmenovitý zkratový vypínací proud. Tato norma neplatí pro kombinace pojistky s vypínači, pojistky se stykači, kombinace pro motorové obvody nebo pro kombinace obsahující spínače jednotkových kondenzátorových baterií. Tato norma platí pro kombinace o jmenovitém napětí nad 1 kV do 52 kV včetně v trojfázových sítích střídavého proudu o kmitočtu 50 Hz nebo 60 Hz.

ČSN EN IEC 60383-1 ***Izolátory pro venkovní vedení se jmenovitým napětím nad 1000 V – Část 1: Keramické nebo skleněné izolátory pro soustavy se střídavým napětím – Definice, zkušební metody a kritéria přijetí***

Tato norma se vztahuje na izolátory z keramického materiálu nebo ze skla, které jsou určeny pro venkovní vedení se střídavým napětím a venkovní trakční vedení se jmenovitým napětím vyšším než 1000 V a kmitočtem nepřesahujícím 100 Hz. Je rovněž určena pro stejnosměrná venkovní elektrická trakční vedení. Norma platí pro závěsné izolátory, podpěrné izolátory pro venkovní vedení a pro izolátory podobné konstrukce určené pro použití v elektrických stanicích. Netýká se však izolátorů, které tvoří části elektrických přístrojů, části

použité k jejich konstrukci nebo na staniční podpěrky, které jsou zahrnuty v IEC 60168. Dokument neobsahuje požadavky pro výběr izolátorů do zvláštních provozních podmínek.

ČSN EN IEC 61462 ed. 2 ***Kompozitní duté izolátory – Izolátory tlakové a bez tlaku pro elektrická zařízení se jmenovitým střídavým napětím vyšším než 1000 V a jmenovitým stejnosměrným napětím vyšším než 1500 V – Definice, zkušební metody, kritéria přijetí a konstrukční doporučení***

Tato norma platí pro kompozitní duté izolátory, které sestávají z izolační trubky nesoucí zatížení, vyrobené ze skelných vláken impregnovaných pryskyřicí, z pláště vyrobeného z elastomerického materiálu a z kovového upevňovacího zařízení na koncích izolační trubky. Kompozitní duté izolátory, určené k obecnému použití (bez tlaku) nebo pro použití se stálým tlakem plynu, se uplatňují u venkovních a vnitřních elektrických zařízení pracujících při střídavém proudu, se střídavým jmenovitým napětím vyšším než 1000 V a kmitočtem ne vyšším než 100 Hz nebo pro použití pro přístroje se stejnosměrným jmenovitým napětím vyšším než 1500 V. Dokument stanovuje použité termíny, specifikuje zkušební metody a kritéria přijetí. Nespecifikuje dielektrické typové zkoušky. Kromě tepelně-mechanické zkoušky jsou všechny uvedené zkoušky prováděny při normální teplotě okolí. V dokumentu nejsou předepsány zkoušky, které mohou být charakteristické pro zařízení, jehož část tvoří duté izolátory.

ČSN EN IEC 62477-1 ed. 2 ***Bezpečnostní požadavky pro systémy a zařízení výkonových elektronických měničů – Část 1: Obecně***

Tato norma platí pro systémy výkonových elektronických měničů (PECS), jakékoliv určené příslušenství, jejich součásti pro elektronickou výkonovou přeměnu a elektronické výkonové spínání, včetně prostředků jejich ovládání, ochrany, sledování a měření, jejichž hlavním účelem je převod elektrické energie se jmenovitým systémovým napětím nepřesahujícím 1000 V AC nebo 1500 V DC. Tento dokument se také použije na PECS, které záměrně vyzařují vysokofrekvenční vlnění za účelem radiokomunikace. Pro PECS a jejich určené příslušenství, pro které není žádná norma výrobku, tento dokument stanoví minimální požadavky na bezpečnostní hlediska. Tento dokument má status skupinové bezpečnostní publikace podle Pokynu IEC 104 pro systémy výkonových elektronických měničů pro solární, větrné, přílivové, vlnové, palivové články nebo podobné zdroje energie. Tato norma se nevztahuje na telekomunikační přístroje, pokud se nejedná o napájení těchto přístrojů; hlediska funkční bezpečnostní pokryté například souborem IEC 61508 a elektrická zařízení a systémy pro použití na železnici a v elektrických vozidlech.

ČSN EN IEC 61869-13 ***Přístrojové transformátory – Část 13: Samostatná spojovací jednotka (SAMU)***

Tato norma je součástí souboru norem IEC 61869 Přístrojové transformátory. Definuje dodatečné požadavky na samostatnou spojovací jednotku, umístěnou uvnitř mnoha zařízení, např. vypínačů, přístrojových transformátorů, výkonových transformátorů apod. Vzhledem k tomu, že SAMU je integrální částí digitálního ochranného systému rozvodny, její provedení z hlediska EMC a prostředí jsou uvažovány v harmonizaci s bezpečnostními hledisky ochrany strategického postavení rozvodných systémů distribuční a přenosové soustavy.

V normě jsou uvedeny obecné termíny a definice týkající se předmětu normy, termíny a definice související s dielektrickou klasifikací a napětími, s proudovou klasifikací a s přesností. V normě jsou uváděny požadavky na přesnosti pro kanály SAMU, požadavky na odolnost (EMC). Norma obsahuje požadavky na značení svorek, značení na výkonnostním štítku a přehled typových a výrobních kusových zkoušek. V jedné příloze k normě je úvaha o třídě přesnosti měřicího řetězce. Další příloha uvádí příklady měření spínacích a atmosférických impulzních napětí v plynem izolovaném spínacím zařízení. Poslední příloha se zabývá přístrojových transformátorů nízkého výkonu.

ČSN EN IEC 60076-19-1 ***Výkonové transformátory – Část 19-1: Pravidla pro stanovení nejistot při měření ztrát výkonových transformátorů***

Tato norma se zabývá pravidly pro stanovení nejistot při měření ztrát výkonových transformátorů, přičemž předmětem této normy nejsou pravidla pro stanovení ztrát tlumivek. Dokument pojednává o měření ztrát, které z hlediska měření sestává z odhadu měřené hodnoty a vyhodnocení nejistoty, která má vliv na samotnou měřenou hodnotu. Oproti předchozímu vydání norma také obsahuje sjednocení symbolů pro vyloučení záměny napětí a rozšířené nejistoty.

Elektromagnetická kompatibilita

ČSN EN IEC 61000-4-6 ed. 5 ***Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 4-6: Zkušební a měřicí technika – Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli***

Tato norma se týká požadavků na odolnost elektrického a elektronického zařízení proti elektromagnetickým rušením šířeným vedením, jejichž zdrojem jsou záměrné vysokofrekvenční (RF) vysílače v kmitočtovém rozsahu od 150 kHz do 80 MHz.

V normě jsou specifikovány zkušební metody pro posouzení vlivu, který mají rušivé signály šířené vedením, indukované elektromagnetickým zářením, na příslušné zařízení. Simulace a měření těchto rušení šířených vedením nejsou dostatečně přesné pro kvantitativní stanovení účinků. Specifikované zkušební metody jsou strukturovány pro primární cíl, kterým je zajištění adekvátní opakovatelnosti výsledků v různých zařízeních pro kvantitativní analýzu účinků. Cílem této normy je dát obecný základní podklad pro vyhodnocení funkční odolnosti elektrického a elektronického zařízení, je-li vystaveno rušením šířeným vedením, indukovaným RF poli. Zkušební metoda dokumentovaná v této normě popisuje konzistentní metodu pro určení odolnosti zařízení nebo systému proti specifikovanému jevu.

Elektrotechnika v dopravě a inteligentní dopravní systémy

ČSN EN IEC 63281-1 ***Elektrické přepravní prostředky – Část 1: Terminologie a klasifikace***

Tato norma stanovuje terminologii a klasifikaci elektrických přepravních prostředků. Norma platí pro „elektrické

přepravní prostředky“ – elektricky poháněná přepravní zařízení pro používání na veřejných cestách nebo ve veřejných prostorech. Tyto elektrické přepravní prostředky poskytují řešení pro přepravu buď pasažérů, nebo zboží, nebo obojího. Tato zařízení mohou být ručně řízená, mít automatické funkce nebo být autonomní.

ČSN EN IEC 61980-2 ***Systémy bezdrátového přenosu energie (WPT) elektrického vozidla – Část 2: Zvláštní požadavky na komunikaci a činnosti systému MF-WPT***

Tato část souboru se zabývá komunikací a činností systémů pro bezdrátový přenos energie (MF-WPT) pomocí magnetického pole pro elektrická silniční vozidla. Norma pokrývá specifické požadavky na činnost systému a komunikaci mezi elektrickým silničním vozidlem na jedné straně a zařízeními mimo elektrické silniční vozidlo na straně druhé, včetně obecných souvislostí a definic.

TNI ISO/TR 12770 (01 8513) ***Inteligentní dopravní systémy – Integrace mobility – Role agregátora ITS dat a model funkcí***

Tento dokument popisuje základní role a model funkcí agregátora dat inteligentních dopravních systémů (ITS), která je základní rolí definovanou v normě ISO/TR 4445. Poskytuje model, který popisuje:

- rámec pro poskytování agregace ITS dat pro aplikace služeb kooperativních ITS;
- koncept určité role a model funkcí pro tuto roli;
- koncepční architekturu pro aktéry, kteří poskytují/přijímají agregovaná ITS data;
- odkazy na klíčové dokumenty, z nichž architektura vychází;
- taxonomii organizace obecných postupů.

Elektrické instalace

ČSN 33 2000-4-43 ed. 3 ***Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-43: Bezpečnost – Ochrana před nadproudy***

Tato část souboru ČSN 33 2000 stanoví požadavky na ochranu živých vodičů, vodičů PEN, PEM a PEL před škodlivými účinky způsobenými nadproudem a požadavky pro koordinaci opatření na ochranu před nadproudem.

Kabely a vodiče

ČSN 34 7413 ***Signální a ovládací kabely pro řídicí systémy – Typ JYTY***

Tato norma platí pro kabely s měděnými jádry o průměru 1 mm s PVC izolací a PVC pláštěm pro jmenovité napětí 300/500 V AC. Dále platí pro kabely s měděnými jádry o průměru 1,8 mm s PVC izolací a PVC pláštěm pro jmenovité napětí 450/750 V AC.

ČSN 34 7660-100 ***Kabely s nízkým požárním nebezpečím pro jmenovité napětí 0,6/1kV – Oddíl 100: Kabely bez koncentrického jádra***

Tato norma platí pro jednožilové a vícežilové kabely pro jmenovité napětí 0,6/1 kV s měděnými nebo hliníkovými jádry, pro pevnou instalaci, jejichž veškeré nekovové materiály mají snížený obsah halogenů.

Elektrické přístroje, elektrické příslušenství a pojistky nízkého napětí

ČSN EN IEC 61543 ed. 2 ***Proudové chrániče (RCD) pro domovní a podobné použití – Elektromagnetická kompatibilita***

Tato norma stanovuje zvláštní požadavky na emise a odolnost, zkoušky a kritéria výkonnosti pro proudové chrániče (RCD) pro domovní a podobné použití, pro jmenovitá napětí nepřesahující 440 V. Norma je určena k tomu, aby odkazovala na výrobkové normy pro RCD a není určena pro používání jako samostatný dokument.

ČSN EN 50626-2 ***Trubkové systémy uložené pod zemí pro ochranu a vedení izolovaných elektrických kabelů nebo komunikačních kabelů – Část 2: Systémy instalačních trubek z polyethylenu (PE), polypropylenu (PP) nebo neměkčeného polyvinylchloridu (PVC-U) – Požadavky na trubky, tvarovky a systém používaný ve zvláštních aplikacích***

Tato norma se zabývá požadavky a zkouškami pro systémy instalačních trubek uložených v zemi pro ochranu a vedení izolovaných vodičů a/nebo silových nebo sdělovacích kabelů se stanovenou dobou provozu a které jsou uzavřenými plnostěnnými systémy instalačních trubek a jsou vyrobeny z PE, PP a PVC-U.

Stavebnictví

ČSN EN 1996-1-1 ***Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce***

Eurokód 6 je obecným základem pro navrhování pozemních a inženýrských staveb z nevyztuženého, vyztuženého a sevřeného zdiva. Jsou také uvedeny zásady pro navrhování předpjatého zdiva. Tato část neplatí pro zděné prvky o ploše příčného řezu menší než 0,04 m^2. Vyztužené a sevřené zdivo ze zdicích prvků skupiny 4 a vystavené působení převážně svislého zatížení není v tomto dokumentu zahrnuto. Část 1-1 poskytuje podrobná pravidla, která jsou použitelná zejména pro běžné budovy.

ČSN EN ISO 9488 ***Solární energie – Slovník***

Tato norma definuje základní termíny vztahující se k oblasti měření slunečního záření a využití sluneční energie ve vytápění a ohřevu vody, chlazení, průmyslových procesech a klimatizaci. Dále uvádí slovník a definice vztahující se k takovým měřením a technologickému využití. Od verze tohoto dokumentu z roku 1999 nastal podstatný vývoj v oblasti solárních fotovoltaických technologií a solárních tepelných vysokoteplotních technologií, které využívají teplo pro produkci elektřiny nebo pro zajištění vysokých teplot pro procesy, které takové zvýšené teploty vyžadují. Tato norma poskytuje některé definice, které jsou užitečné také pro takové technologie; nicméně existují jiné dokumenty, které uvádějí slovník pro tyto technologie ve větším detailu.

ČSN EN 16687 ***Stavební výrobky – Posuzování uvolňování nebezpečných látek – Terminologie***

Tento dokument definuje pojmy používané v oblasti hodnocení obsahu nebezpečných látek ve stavebních výrobcích a jejich uvolňování z těchto výrobků.

(NE)PLYNULÝ PŘECHOD K NAŘÍZENÍ O ZDRAVOTNICKÝCH PROSTŘEDCÍCH A NAŘÍZENÍ O DIAGNOSTICKÝCH ZDRAVOTNICKÝCH PROSTŘEDCÍCH *in vitro*

Mgr. Svatava Lagronová, Ph.D.

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Počátky přechodu na nařízení a covidová krize

Výrobce zdravotnických prostředků pravděpodobně již od roku 2017 každý rok děsilo datum 26. květen. Letos jim toto datum konečně přestalo v kalendáři blikat červeně, ale jejich noční můry budou nejspíše ještě pokračovat. Dnem 26. května 2020 měla být zahájena použitelnost nového, velmi přísného **nařízení EU o zdravotnických prostředcích** (dále také „ZP“) 2017/745[1], tzv. **MDR**. Ke stejnému datu, jen o dva roky později, mělo nabýt účinnosti také **nařízení EU o diagnostických zdravotnických prostředcích *in vitro*** (dále také „IVD“) 2017/746[2], tzv. **IVDR**. Obě nová nařízení kladou oproti původním harmonizovaným legislativním aktům (směrnice 90/385/EHS – AIMD[3], směrnice 93/42/EHS – MDD[4] a směrnice 98/79/ES – IVDD[5]) mnohem více požadavků nejen na výrobce, dovozce a distributory ZP a IVD, ale i na oznámené subjekty[6] působící v této oblasti. Zatímco výrobci byli v průběhu času od roku 2017 (od začátku platnosti výše uvedených nařízení MDR a IVDR) plně zaměstnáni zaváděním nových požadavků do své výrobní praxe, oznámené subjekty se musely připravovat na zcela nové oznámení. Všechna oprávnění udělená členskými státy subjektům posuzování shody pro činnosti notifikované osoby[7] v oblasti zdravotnických prostředků totiž pozbyla platnost současně s účinností MDR a IVDR. Původně plánované tříleté období mezi začátkem platnosti nařízení a začátkem jejich účinnosti (v případě IVDR se jednalo dokonce o pětileté období) však nestačily na přípravu žádnému z aktérů – výrobcům, oznámeným subjektům, Evropské komisi ani národním jmenujícím orgánům.

Když se v roce 2020 svět zastavil v důsledku covidové krize, zastavil se také čas pro MDR a došlo k jeho prvnímu posunu. Účinnost nařízení MDR byla nařízením EP a Rady 2020/561[8] odložena na 26. květen 2021. Zdálo se, že to byl krok poslední záchrany a vše by se tím mohlo narovnat. Hodiny ale neustále tikaly a náročné požadavky bylo stále těžké plnit. Naštěstí obě nařízení mají tzv. **přechodná ustanovení** (čl. 120 MDR a čl. 110 IVDR), která dávala možnost uvádět tzv. legacy devices na trh až do 26. května roku 2024. Za „legacy devices“ jsou označovány zdravotnické prostředky, které jsou uváděny na trh v souladu s předchozími směrnicemi AIMD, MDD nebo IVDD, mají platný certifikát vydaný podle směrnic, podléhají pravidelnému dozoru ze strany osob notifikovaných podle směrnic. U „legacy devices“ nesmí být provedeny významné změny, a navíc výrobce musí zajistit plnění požadavků nařízení MDR nebo IVDR týkající se sledování po uvedení na trh, dozor nad trhem, vigilance a registrace hospodářských subjektů.

Strach z nedostatku zdravotnických prostředků

Cílem Evropské komise je dosáhnout prostřednictvím dvou nových nařízení MDR a IVDR vyšší bezpečnosti a prokázané účinosti zdravotnických prostředků na trhu EU. K naplnění tohoto cíle je zapotřebí nejen klást důraz na plnění požadavků ze strany výrobců ZP a IVD, ale mimo jiné také sladit a dotáhnout na potřebnou úroveň činnost oznámených subjektů. Komise ve spolupráci s národními jmenujícími orgány začala s posuzováním systému managementu kvality a kompetence lidských zdrojů subjektů posuzování shody, které požádaly o jmenování podle MDR/IVDR. I tento proces se však stal překážkou v hladkém přechodu na nová nařízení. Oproti původní (a v jiných harmonizovaných oblastech stále obvyklé) tříměsíční lhůtě pro rozhodnutí ve správním řízení o oznámení se jmenování podle MDR prodloužilo na neuvěřitelné dva až tři roky. To způsobilo kritický nedostatek oznámených subjektů pro ZP a IVD v době, kdy už byla obě nařízení účinná. Pro představu – v prosinci 2021, kdy MDR bylo již několik měsíců použitelné, bylo jmenováno pouze 25 subjektů z 53 žadatelů o oznámení a jen 6 subjektů k IVDR z 19 žadatelů (**graf 1**).

MDR už za sebou mělo posun účinnosti, bylo tedy na čase se postarat i o IVDR. Tady se Komise rozhodla jít jiným směrem a místo odložení použitelnosti IVDR byla prostřednictvím nařízení EP a Rady 2022/112 změněna ona přechodná ustanovení. Platnost certifikátů vydávaných podle směrnice IVDD mohla být prodloužena až do 26. května 2025. Prostředky, u kterých podle směrnice

[1] Nařízení EP A RADY (EU) 2017/745 ze dne 5. dubna 2017 o zdravotnických prostředcích, změně směrnice 2001/83/ES, nařízení (ES) č. 178/2002 a nařízení (ES) č. 1223/2009 a o zrušení směrnic Rady 90/385/EHS a 93/42/EHS

[2] Nařízení EP A RADY (EU) 2017/746 ze dne 5. dubna 2017 o diagnostických zdravotnických prostředcích in vitro a o zrušení směrnice 98/79/ES a rozhodnutí Komise 2010/227/E

[3] Směrnice RADY č. 90/385/EHS ze dne 20. června 1990 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se aktivních implantabilních zdravotnických prostředků

[4] Směrnice RADY č. 93/42/EHS ze dne 14. června 1993 o zdravotnických prostředcích

[5] Směrnice EP A RADY č. 98/79/ES ze dne 27. října 1998 o diagnostických zdravotnických prostředcích in vitro

[6] Subjekty posuzování shody, které jsou oznámeny Evropské komisi a členským státům jako subjekty oprávněné jedním členským státem k posuzování shody podle přímo použitelných nařízení EU a jiných právních aktů spadajících do působnosti zákona č. 90/2016 Sb.

[7] Subjekty posuzování shody, které žádaly o autorizaci podle zákona č. 22/1997 Sb. a příslušných nařízení vlády kam byly transponovány požadavky EU směrnic (včetně AIMDD a MDD) se po jejich oznámení Evropské komisi a členským státům stávají notifikovanou osobou.

[8] Směrnice RADY č. 93/42/EHS ze dne 14. června 1993 o zdravotnických prostředcích

IVDD nebyl vyžadován certifikát, ale podle nového nařízení IVDR mají povinnou účast třetí osoby při postupech posuzování shody a které mají prohlášení o shodě vydané před datem použitelnosti IVDR (tj. před 26. květnem 2022), mohou být uváděny na trh až do 26. května 2027, ovšem v závislosti na jejich rizikové třídě (nejrizikovější prostředky třídy D pouze do 26. května 2025).

Usilovně se pracovalo na všech frontách, ale prostředků certifikovaných podle MDR nebo IVDR stále mnoho nepřibývalo. Kromě stížností na nedostatečnou kapacitu oznámených subjektů se začaly ozývat i obavy z nedostatečného počtu zdravotnických a diagnostických prostředků *in vitro* na trhu. Dalším pokusem Evropské komise zvrátit tuto nepříznivou situaci byl dopis adresovaný výrobcům, zveřejněný na webových stránkách Komise v červnu 2022 pod názvem MDCG 2022-11[9] „Upozornění pro výrobce, aby zajistili včasnou shodu s požadavky MDR a IVDR". V dopisu byl zdůrazněn záměr prodloužení přechodného období, které má sloužit k poskytnutí dalšího času na přípravu celého systému a plynulého přechodu na nové nařízení, nikoliv jako odkladné období. Zveřejněný dopis však většinu výrobců a dalších zainteresovaných stran velmi pobouřil. Komise reagovala vydáním usmiřujícího dokumentu s názvem MDCG 2022-14[10], ve kterém popsala bezmála dvě desítky akcí, které by měly vést ke zmírnění přibližující se krize na trhu se ZP a IVD. Komise v rámci zmíněných akcí například vydala akt v přenesené pravomoci, kterým odložila povinné společné posuzování oznámených subjektů, původně plánované po třech letech od oznámení, až na pět let, povolila oznámeným subjektům provádět hybridní audity (tj. kombinovat vzdálený audit a audit na místě), přebírat důkazy pro posuzování shody podle MDR/IVDR z posuzování podle předchozích směrnic, využívat strukturovaný dialog mezi výrobcem a oznámeným subjektem jako nástroj k zefektivnění komunikace v rámci procesu posuzování shody apod.

Nařízení, které výrazně prodlužuje přechodné období pro ZP

V té době se blížíme ke konci přechodného období, ale žádná opatření se nezdají být natolik účinná, aby byl zajištěn přístup k nezbytným ZP a IVD pro zdravotníky a pacienty v zemích EU. Tehdy vzniklo nové nařízení EU č. 2023/607[11], které změnilo přechodná ustanovení v MDR a IVDR a způsobilo hotovou revoluci na trhu. Vše, co doposud opravňovalo výrobce k uvádění svého výrobku na trh (tedy EU prohlášení o shodě a platný ES/EU certifikát vydaný notifikovanou osobou / oznámeným subjektem), ze dne na den přestalo platit. Podle nových přechodných ustanovení zůstávají totiž v platnosti některé certifikáty, které již expirovaly – dodýchaly.

Jak je to možné? Zůstane systém udržitelný? Budeme mít na trhu bezpečné a účinné zdravotnické a diagnostické prostředky *in vitro*? V následujících řádcích se pokusíme vysvětlit záměr Komise, princip nařízení (EU) 2023/607 a odpovědět na předešlé otázky, které nás jistě všechny zajímají.

Změnou přechodných ustanovení, především článku 120 MDR, došlo k následujícímu posunu:

1. *„**Certifikáty vydané oznámenými subjekty v souladu se směrnicemi 90/385/EHS a 93/42/EHS** ode dne 25. května 2017, které byly stále **platné ke dni 26. května 2021** a které nebyly následně zrušeny, **zůstávají platné po konci doby platnosti uvedené v certifikátu**".*

2. *„Certifikáty vydané oznámenými subjekty v souladu s uvedenými směrnicemi ode dne 25. května 2017, které byly stále platné ke dni 26. května 2021 a **jejichž platnost skončila před 20. březnem 2023**, se považují za platné pouze za podmínek:"*
   a) ***„přede dnem konce platnosti certifikátu** podepsali výrobce a oznámený subjekt ve vztahu k prostředku, na který se vztahuje certifikát, jehož doba platnosti uplynula, nebo prostředku, který má takový prostředek nahradit, **písemnou dohodu o posouzení shody** v souladu s oddílem 4.3 druhým pododstavcem přílohy VII tohoto nařízení;"*

anebo

   b) ***„příslušný orgán členského státu udělil odchylku od použitelného postupu posuzování shody** v souladu s čl. 59 odst. 1 tohoto nařízení nebo výrobce v souladu s čl. 97 odst. 1 tohoto nařízení požádají, aby provedl příslušný postup posuzování shody."*

Příslušným orgánem je v České republice Státní ústav pro kontrolu léčiv jakožto orgán dozoru na trhem v oblasti zdravotnických prostředků a diagnostických prostředků *in vitro*.

Znamená to, že žádné certifikáty se nebudou prodlužovat a při kontrole, ať už zákaznické nebo ze strany orgánů dozoru nad trhem se nezohlední datum platnosti certifikátu. Situace však není jen tak jednoduchá. K tomuto virtuálnímu odstranění data platnosti certifikátu přichází plnění dalších podmínek i u certifikátů, které zůstávaly platné po vydání tohoto nařízení (EU) 2023/607, tedy certifikáty zmíněné v bodě výše. Podmínky pro výrobce ZP pokrytých takovými certifikáty jsou:

   a) *„uvedené prostředky **jsou nadále v souladu** podle případu **se směrnicí** 90/385/EHS nebo se směrnicí 93/42/EHS;"*

K ujištění, že tomu tak skutečně bude, slouží pravidelný dozor nad certifikáty prováděný osobou notifikovanou podle AIMD nebo MDD, která certifikát vydala. Dozor má být prováděn podle MDCG 2022-4.

   b) *„v konstrukci a určeném účelu výrobku **nedošlo k žádným významným změnám**;"*

Výrobce má povinnost hlásit každou změnu související s návrhem a výrobou notifikované osobě, která vydala certifikát. Notifikovaná osoba posoudí význam této změny vzhledem k vydanému certifikátu, a to především z hlediska,

[9] MDCG 2022-11 MDCG Position Paper: Notice to manufacturers to ensure timely compliance with MDR and IVDR requirements

[10] MDCG 2022-14 Transition to the MDR and IVDR – Notified body capacity and availability of medical devices and IVDs

[11] Nařízení EP A RADY (EU) 2023/607 ze dne 15. března 2023, kterým se mění nařízení (EU) 2017/745 a (EU) 2017/746, pokud jde o přechodná ustanovení pro některé zdravotnické prostředky a diagnostické zdravotnické prostředky in vitro

zda změna může ovlivnit bezpečnost nebo určený účel prostředků pokrytých certifikátem. V případě výrobků, u nichž změna neovlivní jejich bezpečnost a správnou funkci, ale ovlivní údaje na certifikátu, může notifikovaná osoba vydat dodatek k certifikátu. Pokud by však mohla být bezpečnost nebo funkce prostředků plánovanou změnou ovlivněna, je třeba nové posouzení shody.

Notifikovaná osoba by si pro posouzení změn měla vzít na pomoc dokument MDCG 2020-3[12]

c) ***„prostředky nepředstavují nepřijatelné riziko pro zdraví nebo bezpečnost*** *pacientů, uživatelů nebo dalších osob, nebo pro další hlediska ochrany veřejného zdraví;“*

Jedná se o kontrolu údajů z dozoru nad trhem nebo výrobcem zavedeného systému sledování po uvedení na trh. Všechny tyto údaje by měl mít k dispozici i subjekt oznámený podle MDR, se kterým výrobce hodlá podepsat písemnou smlouvu o posouzení shody.

d) ***„nejpozději dne 26. května 2024 výrobce zavedl systém řízení kvality*** *v souladu s čl. 10 odst. 9;“*

Povinnost výrobce zavést systém řízení kvality je jednou ze zásadních ***změn***, které MDR přineslo. Přičemž součástí systému řízení kvality mají být i další dílčí systémy jako např. systém pro řízení rizik, systém pro sledování po uvedení na trh i z hlediska klinických aspektů, které musí být sledovány, a také systém pro včasné ohlašování nežádoucích příhod a nápravných opatření pro terén, tzv. systém vigilance. Tento zásadní požadavek byl do MDR zaveden proto, aby se zajistilo, že sériově vyráběné prostředky budou nadále v souladu s požadavky tohoto nařízení a že budou v rámci jejich výrobního procesu zohledněny zkušenosti s používáním výrobků.

e) *„výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce podal* ***nejpozději dne 26. května 2024*** *u oznámeného subjektu* ***formální žádost o posouzení shody****“ … „a nejpozději* ***dne 26. září 2024 oznámený subjekt a výrobce podepsali písemnou dohodu****“. Oznámeným subjektem se rozumí subjekt oznámený podle nařízení MDR, který má ve svém rozsahu oznámení specifický kód pro prostředky pokryté certifikátem.*

Těchto pět podmínek má přimět výrobce řádně se zabývat přípravou na přechod k MDR, ale zároveň dát mu šanci udržet své ZP na trhu. Pokud jsou výše zmíněné podmínky splněny, je ještě nutné převést některá práva a povinnosti od notifikované osoby, která certifikát vydala, na oznámený subjekt, kterému byla podána žádost. Nejdůležitější je převést povinnost dozoru. Bez ohledu na ustanovení smlouvy mezi výrobcem a oznámeným subjektem nebo třístranné dohody mezi výrobcem, notifikovanou osobou a oznámeným subjektem přebírá povinnost dozoru oznámený subjekt nejpozději k datu 26. září 2024.

Stejné podmínky platí i pro prostředky, u nichž postupy posuzování shody podle směrnic nevyžadovaly účast třetí osoby, tedy notifikované osoby, ale podle nařízení MDR už je taková účast oznámeného subjektu nutná. Jedná se především o prostředky, které díky specifickým vlastnostem (např. přítomnosti nanomateriálu) spadají podle nařízení MDR do vyšší rizikové třídy, dále pak chirurgické nástroje pro opakované použití třídy I, na které se nově vztahuje povinnost posouzení shody za účasti oznámeného subjektu, a také implantabilní prostředky vyrobené na zakázku spadající do rizikové třídy III. Nicméně vzhledem k tomu, že takové prostředky byly uváděny na trh jen na výhradní odpovědnost výrobce, který vydal EU prohlášení o shodě, nebyly pod pravidelným dozorem žádné notifikované osoby a povinnosti související s převodem patřičného dozoru pro ně tudíž neplatí.

Prodloužená platnost neživých certifikátů má však také svá omezení. Prostředky pokryté takovými certifikáty, jakož i prostředky bez certifikátu, na něž se rovněž vztahují přechodná ustanovení, mohou být uváděny na trh do různých dat podle jejich rizikové třídy v souladu s **tabulkou 1**. Další důležitou změnou v MDR a IVDR podle pozměňujícího nařízení (EU) 2023/607 bylo odstranění lhůty pro dodávání výrobků na trh, jinými slovy lhůty pro doprodej těch kusů prostředků, které již byly výrobcem nebo dovozcem prvně dodány do řetězce distributorů až k uživateli. V původním znění nařízení MDR a IVDR byl termín pro dodávání výrobků na trh posunut o pouhý rok oproti možnosti legálního uvedení na trh. To mohlo vést k riziku vyřazení poměrně bezpečných a spolehlivých výrobků z možnosti jejich zužitkování ještě před datem jejich expirace. Zdá se to být dobrým a účinným opatřením nejen proti riziku nedostatku ZP a IVD na trhu, ale také proti zbytečnému vytváření nebezpečného odpadu.

Další (a prozatím poslední) pozměňovací nařízení Evropského parlamentu

O málo více než rok od prodloužení přechodného období pro zdravotnické prostředky přišlo z Evropského parlamentu další pozměňovací nařízení, a to nařízení (EU) 2024/1860[13]. Od června tohoto roku si mohou na krátkou chvíli oddechnout i výrobci diagnostických prostředků *in vitro*.

Nařízením (EU) 2024/1860 byla změněna přechodná ustanovení v IVDR přibližně následujícím způsobem:

1. ***„Certifikáty vydané oznámenými subjekty v souladu se směrnicí 98/79/ES*** *ode dne 25. května 2017, které byly stále* ***platné ke dni 26. května 2022*** *a které nebyly následně zrušeny,* ***zůstávají platné po konci doby platnosti*** *uvedené v certifikátu až* ***do 31. prosince 2027****.“*
2. ***„Certifikáty vydané*** *oznámenými subjekty v souladu s uvedenou směrnicí ode dne 25. května 2017, které byly stále platné ke dni 26. května 2022 a* ***jejichž platnost skončila před 9. červencem 2024****, se považují za* ***platné do 31. prosince 2027****, pouze pokud je splněna jedna z těchto podmínek:“*

[12] MDCG 2020-3 Guidance on significant changes regarding the transitional provision under Article 120 of the MDR with regard to devices covered by certificates according to MDD or AIMDD

[13] Nařízení EP a Rady (EU) 2024/1860 ze dne 13. června 2024, kterým se mění nařízení (EU) 2017/745 a (EU) 2017/746, pokud jde o postupné zavádění databáze Eudamed, povinnost informovat v případě přerušení nebo ukončení dodávek a přechodná ustanovení pro některé diagnostické zdravotnické prostředky *in vitro*

a) *„**přede dnem konce platnosti** certifikátu podepsali výrobce a oznámený subjekt ve vztahu k prostředku, na který se vztahuje certifikát, jehož doba platnosti uplynula, nebo prostředku, který má uvedený prostředek nahradit, **písemnou dohodu o posouzení shody** v souladu s oddílem 4.3 druhým pododstavcem přílohy VII tohoto nařízení;“*

b) *„**příslušný orgán členského státu povolil odchylku** od příslušného postupu posuzování shody **v souladu s čl. 54 odst. 1** tohoto nařízení nebo výrobce v souladu s čl. 92 odst. 1 tohoto nařízení požádal, aby provedl příslušný postup posuzování shody.;“*

Prostředky pokryté takto platnými certifikáty, stejně jako prostředky, u kterých postup posuzování shody podle směrnice IVDD nevyžadoval zapojení oznámeného subjektu, mohou být i nadále uváděny na trh do dat uvedených v **tabulce 2**, pokud budou splněny podmínky:

a) *uvedené prostředky jsou nadále v souladu se směrnicí 98/79/ES;*

b) *v návrhu a určeném účelu prostředku nedošlo k žádným významným změnám;*

c) *prostředky nepředstavují nepřijatelné riziko pro zdraví nebo bezpečnost pacientů, uživatelů ani dalších osob, nebo pro další hlediska ochrany veřejného zdraví;*

d) *výrobce nejpozději dne 26. května 2025 zavedl systém řízení kvality v souladu s čl. 10 odst. 8;*

e) *a výrobce nebo zplnomocněný zástupce podal u oznámeného subjektu formální žádost o posouzení shody nejpozději dne uvedeného v **tabulce 2**.*

Nařízení (EU) 2024/1860 tedy mírně uvolnilo enormní tlak na výrobce IVD prostředků, ale současně přineslo další povinnost pro výrobce IVD i ZP. Touto povinností je hlásit plánované přerušení nebo ukončení výroby u prostředků, u kterých se vyskytuje možnost, že by toto přerušení nebo ukončení mohlo způsobit vážnou újmu nebo vyvolat riziko vážné újmy pro pacienty nebo pro veřejné zdraví v jednom nebo více členských státech EU. Takovou informaci má výrobce nahlásit příslušnému orgánu členského státu, hospodářským subjektům, zdravotnickým zařízením a zdravotnickým pracovníkům, kterým tento prostředek dodává. Příslušný orgán členského státu pak předává získanou informaci Komisi a jiným členským státům. Stejná informace by se měla šířit i prostřednictvím celého řetězce od dodavatele přes distributory k zdravotnickým zařízením a zdravotnickým pracovníkům, kteří jsou na konci tohoto řetězce. Tato povinnost je účinná od 10. ledna 2025. Nicméně je třeba tuto povinnost již teď začít implementovat do systému řízení kvality výrobce.

Tím posledním, co nařízení (EU) 2024/1860 přineslo, a také prozatím poslední změnou týkající se nové legislativy pro ZP a IVD je postupné zavádění databáze Eudamed. **Eudamed** je **Evropská databáze zdravotnických prostředků**, která fungovala již za platnosti původních směrnic, ale nebyla veřejně přístupná. Záměrem Komise bylo tuto databázi zpřístupnit a obohatit ji o další prvky. Původním plánem bylo spustit databázi Eudamed již při vstupu nařízení MDR v účinnost. Nicméně ani tři roky po tomto datu není databáze stále plně funkční ve všech jejích plánovaných modulech, takže bylo rozhodnuto zavádět jednotlivé moduly postupně, po plném otestování jejich funkčnosti.

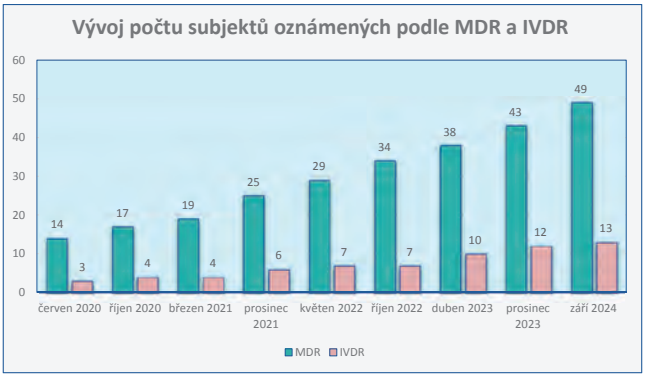
Jak bylo řečeno výše, přechod na nová nařízení nebyl jednoduchý pro žádnou zainteresovanou stranu – výrobce, oznámené subjekty, regulátory ani Komisi – a ani si netroufáme domyslet, co nás všechny ještě čeká. Nezbývá nám než věřit, že se naše „dvojčátka“ MDR a IVDR již brzy postaví na vlastní nohy, přestanou brzdit trh a vývoj a začnou mu sloužit.

Tabulka 1

Implantabilní prostředky třídy III vyrobené na zakázku bez certifikátu	**26. 5. 2026**
Prostředky třídy III jiné než implantabilní prostředky na zakázku	**31. 12. 2027**
Implantabilní prostředky třídy IIb s výjimkou těch uvedených v dalším řádku	**31. 12. 2028**
Šicí materiály, svorky a skoby, zubní výplně, rovnátka, korunky, šrouby, klínky, destičky, dráty, čepy, spony a konektory	**31. 12. 2028**
Prostředky třídy IIb jiné než v předešlých řádcích	**31. 12. 2028**
Prostředky třídy IIa	**31. 12. 2028**
Prostředky třídy I ve sterilním stavu nebo s měřicí funkcí	**31. 12. 2028**
Prostředky bez certifikátu, na něž se vztahují přechodná ustanovení	**31. 12. 2028**

Tabulka 2

Třída a vymezení prostředků	Datum podání formální žádosti o posouzení u OS	Datum podepsání smlouvy o posouzení shody s OS	Datum, do kterého je povoleno uvádět IVD na trh
Prostředky s platným certifikátem (platným čl. 110 IVDR)	**26. 5. 2025**	**26. 9. 2025**	**31. 12. 2027**
Prostředky třídy D	**31. 12. 2027**		
Prostředky třídy C	**31. 12. 2028**		
Prostředky třídy B a A sterilní	**31. 12. 2028**		



Graf 1

ČMI JIŽ INTENZIVNĚ POSUZUJE SHODU ZDRAVOTNICKÝCH PROSTŘEDKŮ

Ing. Jan Kavalírek a kol.

Český metrologický institut

Založení oznámeného subjektu dle MDR

Tříleté úsilí Českého metrologického institutu (ČMI) úspěšně vyústilo ve jmenování ČMI oznámeným subjektem dle nařízení (EU) 2017/745 o zdravotnických prostředcích – tzv. MDR. Po důkladném posuzování kvalifikace a kompetence ze strany národního oznamujícího orgánu i zahraničních expertů získal ČMI dne 22. 12. 2023 oprávnění vykonávat činnosti v oblasti posuzování shody zdravotnických prostředků a postcertifikačních činností. Tohoto úkolu se chopila nová organizační jednotka, ČMI Centrum pro certifikaci zdravotnických prostředků (nebo také ČMI Medical), která začala posuzování shody vykonávat.

Jmenování ČMI oznámeným subjektem shrnul svými slovy **generální ředitel ČMI, doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.**: *„ČMI obstál při velmi náročném procesu hodnocení auditním týmem Evropské komise a zahraničních národních expertů. V tento okamžik bych rád poděkoval všem kolegyním a kolegům, kteří se na tomto úspěchu ČMI podíleli. Kromě našeho interního týmu nám pomáhá také široká paleta externích expertů reprezentujících špičková pracoviště tuzemských univerzit a nemocnic.“*

Nový oznámený subjekt přináší zásadní změnu pro český trh se zdravotnickými prostředky, který má v Česku hodnotu přibližně 20 miliard korun a zahrnuje přibližně 200 tuzemských výrobců. Díky ČMI tak nyní mohou další výrobci získat certifikáty pro své zdravotnické prostředky přímo od domácího subjektu, což zrychluje celý proces uvádění nových zdravotnických prostředků na trh a také šetří náklady, například na překlady dokumentace.

Tento úspěch ČMI proto znamená zvýšení soběstačnosti českého zdravotnického průmyslu a jeho konkurenceschopnosti v Evropě. Připomeňme, že v celé EU existuje méně než padesát oznámených subjektů, přičemž i některé vyspělé země jako Rakousko, Norsko nebo Španělsko mají pouze jednu instituci s tímto oprávněním.

Činnost ČMI Medical

Vnitřní organizační jednotka ČMI Medical, která posuzování shody zdravotnických prostředků vykonává, staví na stabilním zázemí celého ČMI s více než 30letou tradicí a prověřeným systémem řízení kvality. Ten má ČMI již dlouho zaveden díky tomu, že působí jako oznámený subjekt v dalších třech sektorech harmonizovaných výrobků, kterými jsou měřidla (směrnice 2014/32/EU), váhy s neautomatickou činností (směrnice 2014/31/EU) a rádiová zařízení (směrnice 2014/53/EU.)“.

Zavedený systém kvality společně s širokým týmem vysoce kvalifikovaných odborníků z akademické sféry i klinických pracovišť umožňuje poskytování nadstandardně kvalitních služeb s velkou kapacitou v oblasti posuzování shody. Toto podporuje i používání na míru vyvinutého nového softwaru MEDECA pro komunikaci s žadateli. Díky tomu výrobci nemusí čekat v dlouhé frontě, ale přezkum může začít téměř okamžitě. Tuzemští a slovenští výrobci mají navíc výhodu komunikace a dodání dokumentace ve svém rodném jazyce bez nutnosti odborného překladu do angličtiny.

Přestože je mezi žadateli o posouzení shody evidovanými ČMI Medical stále více než polovina z České republiky, v posledních týdnech razantně přibývá i zájemců ze zahraničí, především z EU a USA. Co se týká spektra zdravotnických prostředků, jsou zde zastoupeny všechny kategorie – aktivní i neaktivní prostředky a třídy Is, Ir, Im, IIa i IIb.

Zajímavostí je, že v poslední době došlo k velkému nárůstu žádostí o certifikaci softwaru jako zdravotnického prostředku, což poukazuje na trendy ve vývoji prostředků, které se zaměřují hlavně na umělou inteligenci a strojové učení.

ČMI má oprávnění posuzovat zdravotnické prostředky v souladu s několika postupy. Jmenovitě to jsou Posouzení systému řízení kvality (dle přílohy IX, kapitoly I a III MDR), Posouzení technické dokumentace (dle přílohy IX kapitoly II MDR) a Posuzování shody založené na ověření shody výrobku – postup Zabezpečování kvality výroby (dle přílohy XI, části A MDR), a to pro třídy rizika Is, Im, Ir, IIa a IIb.

Široký tým expertů

Aby bylo možné certifikovat tak širokou škálu zdravotnických prostředků, disponuje ČMI Medical týmem odborníků napříč různými obory. Tento tým čítá 73 hodnotitelů výrobků, 33 klinických specialistů, 13 auditorů, 10 inter-

Ředitelka ČMI Medical Mgr. Helena Kolářová prezentuje ze semináře pro výrobce zdravotnických prostředků

ních kliniků, 9 vedoucích projektů, 42 technických expertů a 10 dalších zaměstnanců v managementu a administrativě. Díky této personální vybavenosti je ČMI schopen pokrýt 20 základních a 18 horizontálních MDR kódů.

Další rozšiřování rozsahu o nové kódy a umělou inteligenci

ČMI neustále sleduje nejnovější vývoj trhu a potřeby českých výrobců. Na základě téměř roční práce při sbírání dat bylo proto vytipováno dalších 10 žádaných MDR kódů pro plánované rozšíření portfolia ČMI Medical, aby bylo možné poskytnout služby širšímu spektru výrobců. „*Rozšíření rozsahu oprávnění není snadný proces a zahrnuje důkladnou přípravu, ale je to důležitý krok správným směrem, na kterém intenzivně pracujeme. Zaměřujeme se především na získání příslušných expertů pro jednotlivé kódy a zpracování kvalitní dokumentace,*“ říká o rozšíření rozsahu **ředitelka ČMI Medical Helena Kolářová**.

Kromě výše zmíněných kódů ČMI bedlivě sleduje i situaci ohledně nového nařízení EU o umělé inteligenci (AI Act) a jeho dopadu na trh zdravotnických prostředků. Podle toho bude totiž nutné, aby výrobci softwarových zdravotnických prostředků využívajících AI systém jakožto bezpečnostní komponentu svého prostředku naplňovali nové požadavky a současně od roku 2027 absolvovali i posouzení shody oznámeným subjektem, který bude kromě MDR notifikován právě i pro nařízení AI Act. ČMI proto situaci kolem adaptace AI Act aktivně komunikuje s Ministerstvem průmyslu i Ministerstvem zdravotnictví a zjišťuje potřeby českých výrobců v této oblasti.

ČMI Medical se věnuje i vydávání odborných příruček a postupů

Zářijový seminář pro výrobce zdravotnických prostředků se těšil velké účasti, dorazilo přes šedesát lidí

Základem je otevřenost a komunikace

Oblast regulace a certifikace zdravotnických prostředků může být pro mnohé obtížně srozumitelná a sledování aktuálních nařízení a doprovodných guidelines je časově náročné. ČMI Medical se proto snaží výrobcům proces certifikace zpřehlednit, a to hlavně otevřenou a flexibilní komunikací a tvorbou vlastních příruček a průvodců, které výrobce srozumitelně provádí celým procesem posuzovaní shody.

ČMI Medical za tímto účelem navíc pravidelně pořádá vzdělávací semináře pro výrobce, kde se probírají praktická témata týkající se posouzení shody, jako například postup podávání žádosti, jednotlivá kritéria plynoucí z MDR nebo průběh auditu systému řízení kvality.

Mezi přednášejícími na seminářích vystupují nejen odborní pracovníci ČMI, ale také zástupci SÚKL či ÚNMZ a další přední odborníci z oboru.

Tento otevřený a proaktivní přístup je výrobci velmi vítaný a získává mezi nimi velkou pozornost. *„Na posledním semináři jsme se zaměřili na praktické rady a tipy, jak úspěšně absolvovat certifikační audit u oznámeného subjektu. Výrobci mají o taková témata velký zájem, což dokládá i jejich početná účast, když jich dorazilo přes šedesát. Dokonce jsme pro ně museli na poslední chvíli zajistit větší sál,“* doplňuje **Jan Kavalírek, vedoucí oddělení administrace zakázek a podpory**.

Více informací o činnosti a novinkách ČMI Medical můžete nalézt na webových stránkách www.cmi.cz/mdr a sociálních sítích LinkedIn a X. V případě dotazů pište na medical@cmi.cz nebo přímo na vedoucího oddělení administrace zakázek a podpory jkavalirek@cmi.cz.

♦ ♦ ♦

ČMI PŘIPRAVUJE NOVÝ CERTIFIKAČNÍ ORGÁN PRO NORMU ISO 13485

Z nedávného průzkumu trhu provedeného ČMI vyplynul výrazný zájem výrobců zdravotnických prostředků o certifikaci systému řízení kvality dle standardu ISO 13485, který je dnes již mezinárodně uznávaným standardem v oblasti managementu kvality zdravotnických prostředků.

V reakci na zjištěný zájem proto ČMI zakládá certifikační orgán zaměřený právě na tuto normu, čímž poskytne výrobcům dostupnější cestu k certifikaci jejich systému kvality. Tato nová jednotka, Certifikační orgán pro certifikaci systémů managementu (COSM), nyní prochází akreditací a dá se očekávat, že v průběhu prvního čtvrtletí příštího roku už bude moci zahájit svou činnost.

Tento krok nejen dále rozšíří aktivity ČMI, ale zejména podpoří české výrobce a trh se zdravotnickými prostředky.

KALIBRAČNÍ LABORATOŘ TESTO ČESKÁ REPUBLIKA

Ing. Bohumír Blažek

Testo, s.r.o.

Kalibrační laboratoř s oficiálním názvem Testo, s.r.o. – Kalibrační laboratoř (dále KL Testo) je součástí společnosti Testo, s.r.o. se sídlem Jinonická 804/80, 158 00 Praha 5 – Košíře (dále Testo CZ). Laboratoř je akreditovaná podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 (dále jen 17025) a jako subjekt akreditace s číslem 2344 je aktuálně držitelem platného Osvědčení o akreditaci č. 682/2023 ze dne 19. 12. 2023 (OA) s platností do 11. 6. 2026. Zhruba v dubnu/květnu 2026 čeká KL Testo kompletní reakreditace ve všech oborech, kterou provádí Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Historie značky Testo sahá do padesátých let minulého století. Zpočátku se zákazníci setkávali se značkou Testoterm, postupem času však došlo ke zkrácení na Testo (bez výslovné vazby na teplotu). Koncern Testo je dnes celosvětově významným inovativním dodavatelem měřicích přístrojů a řešení. Hlavní sídlo koncernu je v německém Titisee (Schwarzwald), kde je prioritně zajišťován vývoj a výroba měřidel. Měřidla Testo se uplatňují v mnoha oborech, zejména v oblastech vytápění, klimatizace, chlazení, v nejrůznějších průmyslových aplikacích, farmacii, zdravotnictví a v potravinářství. Kompletní nabídku najdou zájemci na webových stránkách www.testo.com/cz-CZ.

Společnost Testo CZ byla založena v roce 1999. Přímé působení samostatné společnosti v ČR nabídlo zásadní zlepšení podpory nejen na straně obchodní činnosti, ale i z hlediska významných podpůrných aktivit, jakými jsou záruční a pozáruční servis měřidel a jejich kalibrace. V rámci Testo CZ vznikla následně samostatná laboratoř, která podle akreditace nabízí kalibrace v oborech teplota, relativní vlhkost vzduchu a proudění vzduchu, vše podle přílohy k platnému osvědčení o akreditaci.

KL Testo pomáhá zákazníkům (metrologům, pracovníkům kvality, technologům, uživatelům měřidel a dalším provozním pracovníkům) úspěšně pokrývat procesy, které vyplývají z legislativních požadavků a předpisů (zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. v platném znění, navazující vyhlášky, normy, oborové předpisy, požadavky kontrolních orgánů) a na druhé straně z vlastních předpisů (příručka kvality, metrologický řád, výrobní, provozní, skladové a jiné vnitřní předpisy). Z praktického pohledu se většinově jedná o kalibrace pracovních měřidel.

Někdy se zákazníci nebo uživatelé měřidel ptají, proč vlastně laboratoře podstupují opakované a poměrně náročné prověřování plnění kompetenčních kritérií normy 17025. Z našeho pohledu je to především otázka důvěry, kterou může zákazník získat k akreditovanému subjektu, zejména proto, že akreditační orgán podle jasně definovaných požadavků v normě 17025 pravidelně prověřuje, zda pracoviště plní přísně nastavené standardy pro kalibrační činnosti. Nejde jen o vybavení, to je vcelku snadno dosažitelná technická stránka věci, ale zejména o tým lidí, který zastřešuje laboratorní a podpůrné činnosti v KL Testo. Jsme toho názoru, že především v lidech, jejich zkušenostech, dobře nastavené spolupráci a komunikaci se zákazníkem je možné nalézt zásadní přínos ke kvalitně poskytovaným službám. Velmi důležitá je také podpora, kterou od vedení Testo CZ laboratoř dlouhodobě dostává.

Podívejme se teď na obory, které v rámci akreditace KL Testo nabízí.

V oboru kalibrací teploty se KL Testo zaměřuje především na číslicové teploměry, u nichž podle provedení měřidel, jejich snímačů a na základě potřeb zákazníků provádí kalibrace metodou přímého porovnání s etalonem v olejové lázni, v blokové peci a v teplotní komoře.

Maximální teplotní rozsah je pokrýván v blokové peci (-90 °C až 600 °C), přičemž nejistoty měření se pohybují ve velmi solidním rozpětí, samozřejmě podle hodnot teploty. V nejčastěji využívaném rozsahu -20 °C až 100 °C je nejnižší udávaná nejistota měření 0,10 °C. Pokud tento rozsah pokryjeme kalibracemi v olejové lázni, která je z principu použitého média stabilnější a lepší též z hlediska jeho homogenity, jsme schopni nabídnout pro rozsah -30 °C až 120 °C nejnižší nejistu měření až 0,06 °C, pro hodnoty do 250 °C potom 0,13 °C. Věříme, že tyto údaje jsou dostatečně vypovídající a skvělé.

Měření v teplotních komorách jsou též velmi důležitá, protože existuje řada měřidel, která mají čidla interně zabudovaná a není možné je z principu kalibrovat v jímce blokové pece nebo v olejové lázni. Pro tyto případy nabízí KL Testo kalibrace v teplotních komorách, a to v rozsazích -60 °C až 180 °C s nejistotou měření 0,30 °C, resp. max. 0,60 °C. Tyto hodnoty jsou při daném principu kalibrace velmi dobré. Teplotní komora jako druh zařízení má samozřejmě horší stabilitu a homogenitu, což se projeví také v nejistotě měření.

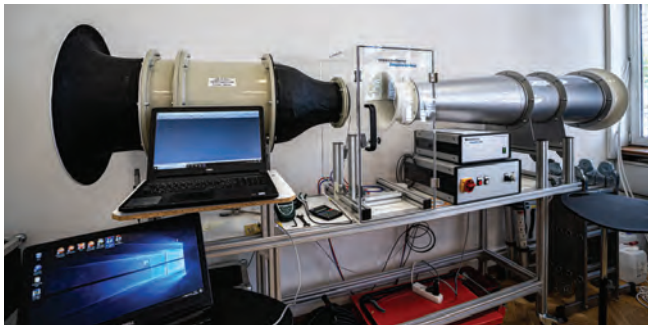
Tyto hodnoty (myšleno ve vazbě rozsah a přidružená nejistota měření) jsou pro kalibrace pracovních měřidel bohatě dostačující. Testo CZ nabízí měřidla a KL Testo jejich kalibrace pro uživatele v mnoha oborech, zejména pro průmyslová měření, měření v potravinářství, ve zdravotnictví, ve farmacii a v dalších jiných, přičemž se ukazuje, že uživatelé měřidel akceptují kalibrace za těchto podmínek a jsou s nimi dlouhodobě spokojeni.

Samostatnou kapitolu v oboru měření teplot představují dotykové teploměry. Tady je potřeba si uvědomit zejména vliv principu měření, kdy se dotykem sondy ve zvoleném místě měření snažíme o co možná nejúspěšnější překonání potíží daných přestupem tepla z měřeného objektu na sondu a souvislostí vlivu okolí. To je důvod, proč u dotykových měření nemůžeme očekávat stejně dobré výsledky, ať už při vlastních měřeních nebo při kalibracích, fyzika se prostě nedá oklamat. Vše se přenáší do nejistot měření, přičemž hodnota nejistoty 1 °C pro „běžné“ rozsahy do 100 °C může být při dotykových měřeních vnímána jako velmi solidní. Kdo se prakticky tímto měřením zabývá, dá nám nejspíš za pravdu.

V kategorii bezdotykových měření jsou nejistoty z principu používání měření v infračervené oblasti ještě vyšší. Rozebrat zde podrobně souvislosti tohoto fyzikálně komplikovaného oboru není možné. U bezdotykových měření je důležité si uvědomit, jestli se jedná o měření kvalitativní, kdy jde více o zjišťování a porovnávání stavů, nebo o měření kvantitativní, kdy nás výslovně zajímají naměřená čísla. KL Testo nabízí v tomto oboru měření, které se provádí přímým porovnání s etalonem pomocí šedého tělesa, kalibrace v rozsazích od -30 °C do 500 °C, a to s nejistotou min. 1,5 °C/max. 5,5 °C.

V oboru měření relativní vlhkosti (RH) vzduchu nabízí KL Testo pokrytí rozsahu kalibrací od 5 % r.v. do max. 95 % RH, a to metodou přímého porovnání s etalonem v klimatické komoře. Nejistoty měření, které se pohybují v rozsahu od 0,6 % RH až do max. 1,5 % RH, považujeme za výborné a pro praktické použití v rámci pracovních měřidel za plně dostačující. KL Testo používá pro měření v oboru RH jako etalon špičkové zařízení – rosnobodový vlhkoměr firmy MBW Calibration, jehož pomocí je možné dosahovat nejnižších nejistot měření.

Pro měření v oboru rychlosti proudění vzduchu číslicových anemometrů využívá KL Testo výtečnou techniku Laser Doppler Anemometer (kalibrace v PTB Braunschweig, měřicí karta v ČMI)). která umožňuje nabídnout zákazníkům pokrytí kalibrací v rozsahu od 0,1 m/s až do 35 m/s, a to s nejistotou měření 0,09 m/s až 0,35 m/s. Na trhu kalibrací není v ČR mnoho pracovišť, která se tímto oborem zabývají.



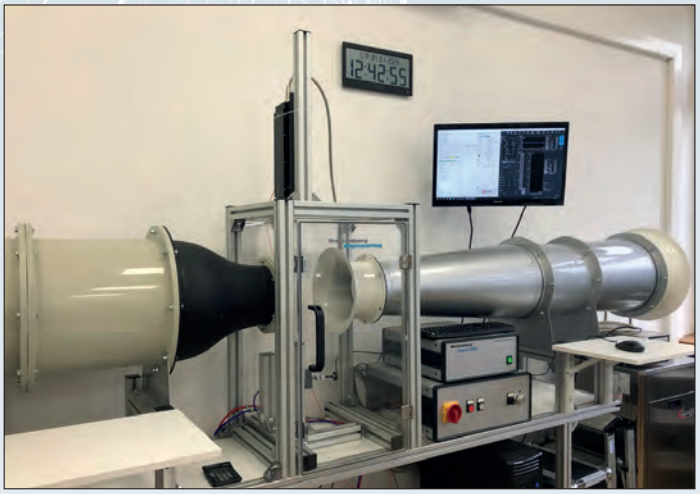
KL Testo nabízí zákazníkům provádění kalibrací nejen v pražské laboratoři, ale také v jejich provozech, což je velmi vítaná služba. Pokud jde o obory, které je možné takto zajišťovat, je to dáno osvědčením o akreditaci, kde je u pořadového čísla v daném oboru uvedená hvězdička.

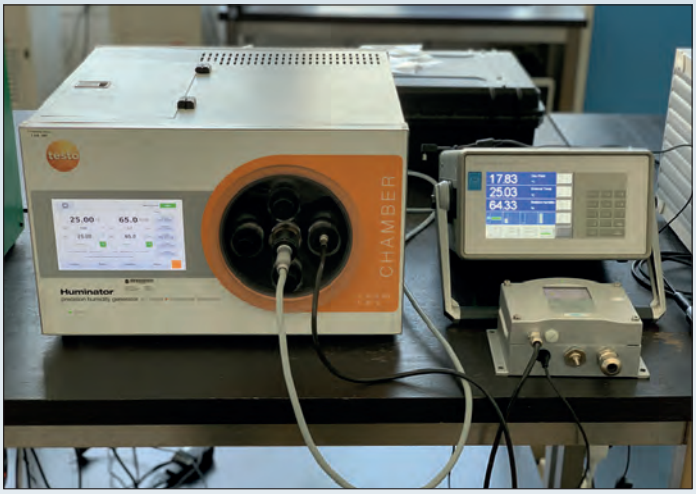
Dovolujeme si zde vyzdvihnout význam nejistot měření v praxi, což není vždy zcela plně doceňováno a zohledňováno. Uživatelé měřidel se občas mylně spoléhají na to, jaké má přístroj rozlišení a chybně tomu přisuzují zásadní vliv na očekávané výsledky měření. Pokud si koupíme teploměr, který má rozlišení 0,01 °C, vůbec to neznamená, že se výslovně jedná o přesné měřidlo. Pro šikovného elektronika totiž není větší problém „zařídit“ zobrazování měřené hodnoty na displeji měřidla na setiny °C, nicméně v praktických aplikacích je využitelnost setiny °C z fyzikální podstaty velmi diskutabilní. Čtenářům tohoto článku se omlouváme za zjednodušení problematiky nejistot s ohledem na rozsah textu.

Záměrem tohoto článku není popisování a rozebírání fyzikálních principů, ale považujeme za důležité zdůraznit využití reálných nejistot měření z kalibrací pro vyhodnocování toho, zda měření prováděné určitým měřidlem vyhovuje či nevyhovuje zadané specifikaci. Specifikace, zadání pro kalibrace a případné vyhodnocení výsledků kalibrace nemusí vždy vyplývat jen z parametrů výrobce nebo konkrétních norem, může se jednat o individuální zadání uživatele. KL Testo se vždy při přijetí zakázky na kalibraci snaží v rámci jejího přezkoumání o jednoznačné nastavení a ujasnění podmínek, aby na konci zakázky byl spokojený zákazník, který se rád vrací.

Odpovědi na otázky nejen k tématice nejistot měření, ale obecně k oboru metrologie, ať už v částech legislativy, teorie a praxe měření, případně ohledně doporučení ke správné praxi v oboru měření nacházejí naši zákazníci také na kurzech metrologie, které Testo CZ v roce 2023 začala organizovat a má s jejich pořádáním a odezvou zákazníků velmi dobré zkušenosti. Bude nám ctí přivítat čtenáře na některém z nich.

Be sure. testo





K 2344

Testo, s.r.o. - Kalibrační laboratoř

Jsme kalibrační laboratoř č. 2344 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v oborech teploty, relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti proudění vzduchu.

Profesionální služby akreditované kalibrační laboratoře Testo.

www.testo.cz

TAKÉ METROLOGIE MŮŽE BÝT ÚSMĚVNÁ

Ing. František Hnízdil
Česká metrologická společnost

Trochu úsměvu a snad i zábavy můžeme najít všude. Dokonce i v metrologii. Za příklad nám mohou posloužit dvě ukázky z oblasti měření času. Ten první nás dokonale zmate i přesto, že jeho podstata je technická, ten druhý se nás pokouší zmást, i když výrobce asi tak úplně nemá pravdu.

Věžní hodiny kostela s. Jakuba Staršího v Příbrami

Obr. 1: Věž příbramského kostela s hodinami osazenými ručičkami obráceně, než jsme zvyklí

Věžní hodiny kostela sv. Jakuba Staršího na příbramském náměstí T. G. Masaryka nás dokonale zmatou svými ručičkami. Patří totiž mezi několik věžních hodin v Česku, kde malá ručička ukazuje minuty a velká pak hodiny. Pokud se na ně podívá náhodný návštěvník města, asi nejčastěji konstatuje, že nefungují, ale je dost překvapen, že místní obyvatel mu oznámí bez problémů, kolik je hodin.

Obr. 2: Detail ciferníku hodin příbramských kostelních hodin zachycující čas 15 hodin 22 minut

Obr. 3: O čtyři minuty později exponovaný snímek zachycuje čas 15 hodin 26 minut – důkaz, že malá hodinová ručička je ručičkou minutovou

Hodiny sem byly přemístěny v roce 1842, kdy je opravoval pražský hodinář Balke. Známý pražský měšťan a mistr hodinář Josef Balke (nar. 1. 4. 1819 – zemřel 29. 5. 1902) odevzdal svoji práci ve svých 23 letech.

Svoji současnou podobu hodiny získaly v roce 1869, kdy proběhla významná přestavba kostela. Toto vročení se od těch časů nachází v rozích ciferníku hodin.

Skutečnost, že funkce ručiček příbramských hodin byla zaměněna, prý dost lezla na nervy německým okupantům za 2. světové války (a asi nejen těmto okupantům), kteří usilovali o jejich úpravu nebo spíše opravu, což, jak vidno, se jim nepodařilo a hodiny dál matou i dnešní obyvatele Česka a návštěvníky Příbrami. Zachování systému hodin v původním stavu napomohla složitost hodinového stroje, jehož úprava či přestavba by byla složitá a nákladná. Nešlo by tedy jen o prosté prohození ručiček.

Důvod na dnešní dobu neobvyklé konfigurace ručiček je možné hledat v postupném vývoji vnímání času obyvatelstvem. Ve středověku mívaly mechanické hodiny jen jednu ručičku a čtyřiadvacetihodinový ciferník. Tehdejšímu toku života vyhovovalo znát jen, zda se blíží poledne, večer či ráno. Později už začínaly být zajímavé také hodiny, ale minuty byly stále jen orientační, proto na jejich zobrazení postačovala méně patrná malá ručička, která se na hodinách v průběhu času objevila jako poslední.

Tato konfigurace však dnes dokáže moderního člověka zmást a možná vyvolá na jeho obličeji i úsměv, když zjistí, že byl „doběhnut“.

„Omlazující hodiny“

Obr. 4: „Omlazující“ hodiny v hospůdce v Romanově

Tento „zázrak techniky“ můžete najít tam, kde se to konečně i předpokládá. Například v milé hospůdce ve vesničce Romanov na Kokořínsku nedaleko Mšena, kde se na vás hodiny dívají ze stěny ve výčepu.

Omlazující hodiny vybavil výrobce pouze strojkem, který postrkuje ručičky, abych tak řekl, proti směru pohybu ručiček hodinových. Jinak řečeno, jdou pozpátku. Současně však výrobce zrcadlově převrátil i ciferník hodin. Nemohu se ubránit dojmu, že porušil pravidlo, že minus a minus dává plus, stejně jako plus a plus dává plus. Z těchto hodin tak lze bez problémů odečítat skutečný čas. Jen se musí číst zrcadlově.

Kdyby výrobce ponechal původní ciferník a uvedl ručičky do obráceného chodu nebo naopak, čili kdyby provedl jen jednu ze změn, hodiny by asi skutečně zdálivě couvaly.

Ale i tak to lidi pobaví, a navíc na nich zjistí, kolik je skutečně hodin. Plní proto obě funkce - pobaví i poučí. Jen to mládnutí z nich nějak nejde vyčíst. Můžete na ně koukat třeba celý den, stejně o ten den zestárnete.

Ale alespoň s úsměvem a v krásné přírodě i milé hospůdce, a to je příjemné (měření).

Obr. 5: Příjemná romanovická hospůdka na Kokořínsku

AMTEST
Test & Measurements

Svatováclavská 408
686 01 Uherské Hradiště
Česká republika
Telefon: +420 731 440 664
E-mail: supp@amtest-tm.com

www.amtest-tm.com

Řešení pro měření a kalibraci teploty a vlhkosti

LogTag
kvalitní dataloggery teploty a vhkosti pro chemické laboratoře, lékařství i průmysl

AccuMac
etalonové odporové teploměry (křemenné i kovové), termočlánky

Batemika
etalonové měřicí přístroje pro teplotu

Kambič Metrology
klimatické i teplotní zkušební komory, kalibrační lázně vzduchové i olejové

Measurements International
etalonové teplotní mosty

Řešení pro měření a kalibraci elektrických veličin

Andeen-Hagerling
nejpřesnější přístroje pro měření kapacity na světě, etalonové kondenzátory

IET Labs
etalony a dekády kapacity, odporu a indukčnosti, LCR mosty

Microchip
etalony frekvence a času

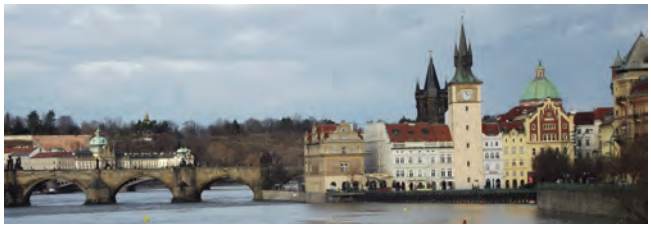
RADIAN Research
etalonové elektroměry

Schützinger
měřicí příslušenství

PŘIPRAVOVANÉ AKCE ČMS DO KONCE ROKU 2024 A NA I. POLOLETÍ ROKU 2025

Česká metrologická společnost, z.s.
Zakládající člen Českého svazu vědeckotechnických společností

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1
tel.: 221 082 254, 606 957 233
e-mail: cms-zk@csvts.cz
www.spolky-csvts.cz/cms



Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
9. prosinec 2024 Klub Lávka, Praha 1 Novotného lávka 1	**Ko 622-24**	**24. fórum metrologů**
16. 12. až 19. 12. 2024 ČSVTS, Praha 1 Novotného lávka 5 sál č. 501	**K 621 24**	**60. základní kurz metrologie**
17. únor 2025 ČSVTS, Praha 1, Novotného lávka 5, sál č. 318	**K 624-25**	**Elektromagnetická kompatibilita – základní kurz**

Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
8. 4. a 9. 4. 2025 PRIMAVERA Hotel & Congress centre, Plzeň	**Ko 625-25**	**32. mezinárodní konference „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“** *s výstavkou měřicí techniky*
Trvalá nabídka	**K 70**	**Korespondenční kurz metrologie**

Nabídka akcí pro rok 2025 bude průběžně aktualizována. Aktuální nabídka včetně termínů konání a přihlášek ke stažení bude uvedena na: https://www.spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms

Pokud máte zájem o aktuální informace a o termínech pořádaných akcí, registrujte se na: https://www.spolky-csvts.cz/cms/content/registrace

Redakční rada:
Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Mgr. Petr Barták, Ing. Miroslav Čermák, Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Ing. Pavel Nosek, RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Ing. Radek Sedláček, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek. Přizvaní: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.
Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 12 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.
Místo vydávání: Praha. Datum vydání: listopad 2024. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz. Nevyžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Foto na obálce:
Etalonová závaží třídy F2, 200 g, 50 g, 20 g a 5 g při ověřování váhy

Photo on the front page:
Standard weights of class F2, 200 g, 50 g, 20 g and 5 g in weight verification