

3/2020
ROČNÍK 29

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ





Vzpomínka na Ing. Ivana Mikuleckého, CSc.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc., Česko-slovenský metrolog, zemřel 11. května 2020 ve věku 71 let. I když v posledních letech života se projevíly nemalé zdravotní problémy, stále neztrácel svoji pozitivní náladu a metrologie zůstávala nejen jeho celoživotní prací, ale stala se i jeho „koničkem“.

Ing. Ivan Mikulecký, CSc. se narodil dne 30. března 1949 v Bratislavě. V roce 1972 promoval na Strojní fakultě SVŠT Bratislava, Katedře měřicí a regulační techniky. Patřil k vynikajícím studentům, proto mu vedoucí katedry, prof. Jozef Skákala, který v té době pracoval jako technický náměstek nově vzniklého Československého metrologického ústavu (ČSMÚ) v Bratislavě, nabídl místo ve jmenovaném ústavu a Ivan Mikulecký zůstal věrný práci pro metrologii celý život. Pracoval nejdříve v oboru termomechanických veličin (tlak, teplota, průtok), kde začal řešit novou oblast primární etalonáže veličiny vlhkosti vzduchu. Tato činnost se nakonec promítla i do jeho studia vědecké aspirantury v novém školícím pracovišti ČSMÚ.

Jako jeden z prvních pracovníků metrologického ústavu získal v roce 1978 titul kandidáta technických věd. Jeho práce nadále úspěšně pokračovala v letech 1972 až 1993 ve funkci vedoucího oddělení průtoku tekutin. Stál prakticky u realizace všech primárních etalonů průtoku vody, technických kapalin a plynu tehdejšího Československa. Po rozdělení Československa využil své dlouholeté zkušenosti z metrologie a působil jako ředitel oboru metrologie Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky. I v tomto období, po rozdělení státu, přispíval k nadstandardním vztahům a budování úzké spolupráce mezi národními metrologickými instituty Česka a Slovenska.

V průběhu své aktivní pracovní kariéry se až do roku 2011 věnoval v rámci svojí profesionální činnosti řadě vědecko-výzkumných národních i mezinárodních projektů, spolupráci s českými, slovenskými i zahraničními výrobci měřidel a uváděním jejich produktů na trh. Také se podílel na tvorbě mnoha technicko-normativních dokumentů. Publikoval velké množství článků v našich i v zahraničních časopisech, podílel se i na knižních metrologických publikacích. Zúčastňoval se práce mezinárodních metrologických organizací (OIML, WELMEC, FLOMEKO) a řady národních a mezinárodních konferencí. Mezi jeho nejdůležitější odkazy patří odevzdávání zkušeností mladší generaci a výchova metrologů formou vedení studentů při diplomových a doktorandských pracích v rámci Slovenské Technické Univerzity v Bratislavě.

Za svoji činnost převzal několik ocenění a je držitelem ceny Jána Adreja Segnera.

Pan Mikulecký byl člověk s velmi přátelskou povahou. Mimo metrologie měl celou řadu dalších zájmů, zejména kulturních. Patřil k nevšedním znalcům tvorby, skladeb a dalších detailů skupiny Beatles, která v šedesátých letech minulého století ovlivňovala život mladých lidí. Na začátku svojí pracovní kariéry v ČSMÚ našel i svoji manželku a celoživotní partnerku, se kterou má dvě děti a která mu byla velkou oporou po celý pracovní i soukromý život.

Vážený pane Ivane Mikulecký, děkujeme Vám za všechno, co jste pro metrologii udělal a posíláme Vám pozdrav do „metrologického nebe“.

Čest Vaší památce !



METROLOGIE V PRAXI**Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.;****Doc. Ing. František Tůma, CSc.**Využití základních nástrojů řízení kvality
v metrologii – část 12**Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.**

Měření teploty lidského těla8

Ing. Petr KompMěření teploty proudící vody v teplovodech
a horkovodech o velkém průměru14**Mgr. Kateřina Drbálková**Parametry ovlivňující měření nitroočního
tlaku17**VĚDA A VÝZKUM****Ing. Martin Koval, Ph.D.**Vplyv vývoja ICT technológií
na metrológiu20**Ing. Hora Václav**Stanovení konfidenčního intervalu pro podíl
středních hodnot24**Ing. Martin Hudlička, Ph.D.**Měření elektromagnetických veličin na základě
kvantových principů – část 126**INFORMACE****Ing. Miroslav Čermák**Česká agentura pro standardizaci – Přináší novinky
ze světa technických norem35**PR****ABF – FOR ARCH – čestná vstupenka**36

Nabídka akcí ČMS na 2. pololetí roku 2020

METROLOGY IN PRACTICE**Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.;****Doc. Ing. František Tůma, CSc.**Using Basic Quality Control Tools
in Metrology – Part 12**Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.**

Measuring Human Body Temperature8

Ing. Petr KompMeasuring the Temperature of Flowing Water
in Large Diameter Hot Water Pipes and
Heating System Conduits14**Mgr. Kateřina Drbálková**Parameters Affecting the Measurement
of Intraocular Pressure17**SCIENCE AND RESEARCH****Ing. Martin Koval, Ph.D.**The Impact of Development in ICT Technologies
on Metrology20**Ing. Hora Václav**Determining the Confidence Interval for
the Mean Ratio24**Ing. Martin Hudlička, Ph.D.**Measuring Electromagnetic Quantities Based
on Quantum Principles - Part 126**INFORMATION****Ing. Miroslav Čermák**The Czech Standardization Agency Introduces
News from the World of Technical Standards35**PR****ABF – FOR ARCH – Honorary Ticket**36The List of ČMS Events in the 2nd Half of 2020**Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ)**

oznamuje, že se spolu s

Českou agenturou pro standardizaci (ČAS),která má sídlo ve stejném objektu, z důvodu plánované rekonstrukce budovy Biskupský dvůr 1148/5, Praha 1
s účinností od 3. srpna 2020 přestěhoval do nových prostor, na adresu:**Na Žertvách 132/24, 180 00 Praha 8.****Veškerá telefonní čísla a e-mailové adresy zůstávají nezměněny. Jako korespondenční a zasilací adresu pro veškeré
písemnosti používejte:****Na Žertvách 132/24, 180 00 Praha 8;**

Rekonstrukce objektu je plánovaná na dobu 2 let. Poté se oba subjekty přemístí zpět na adresu svého sídla.

Podrobnosti k přemístění ÚNMZ a ČAS naleznete na adrese:

<https://www.unmz.cz/stehovani-unmz-do-novych-prostor-a-omezeni-provozu-v-dusledku-stehovacich-praci/>

VYUŽITÍ ZÁKLADNÍCH NÁSTROJŮ ŘÍZENÍ KVALITY V METROLOGII – ČÁST 1.

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

Západočeská univerzita v Plzni, FEL

Doc. Ing. František Tůma, CSc.

Západočeská univerzita v Plzni, FAV

Úvod

Počátkem 20. století se původně individuální řemeslná výroba, kde kontrolorem výroby byl sám řemeslník, přetvářela na výrobu tovární, kde vznikaly funkce pracovníků technické kontroly. V průmyslové výrobě se začalo vyrábět velké množství stejných výrobků s určitými dovolenými výrobními tolerancemi. To umožnilo zlevnění výrobků a možnost výměny jejich náhradních dílů. Došlo k vývoji norem, které umožňovaly rozvoj sériové výroby. Již v 30. letech zavedli Američané Shewhart a Romig první statistické metody kontroly kvality. K podstatnému rozšíření kontroly kvality došlo během válečné výroby a po 2. světové válce se moderní metody postupně začaly prosazovat i do civilního výrobního procesu.

Základem je zjištění, že kvalita výrobku se tvoří každou činností, která se výrobku dotýká, a to nejen ve vlastní výrobě. Důležitou roli hraje poznání, že předcházet vadám je levnější a méně pracné, než vyrábět zmetky a ty pak třídit a vyhazovat. Tvorbu kvality je třeba sledovat a regulovat (tj. měřit, porovnávat výsledky se zadáním a při rozporech přijímat opatření k odstranění vad) a dbát na vyváženost – nemá smysl při jedné operaci dosahovat vysoké kvality a v další operaci kvality podprůměrné. Důležitou roli zde má i metrologie. Řízení kvality se musí zaměřovat na celý životní cyklus výrobku či služby, nesmí se opomenout kvalita subdodávek a kooperací, kvalita jejich dodavatelů i kvalita předpisů (normalizace, typizace, organizace, tvorba pracovních postupů). Významnou roli zde hraje také přesnost a správnost měření, použití vhodných metod i měřicích prostředků. Kvalita výrobku závisí také na kvalitě pracovníků, a proto je třeba stále zdokonalovat výchovu, vzdělávání a výcvik, je nutné pracovníky pro kvalitní výrobu motivovat a stimulovat.

Japonský průmysl se až do konce 2. světové války zaměřoval na výrobu levného zboží, které se prosazovalo na světových trzích nízkými cenami, umožněnými jednoduchostí zboží a poměrně levnou pracovní silou. Tato země je chudá na suroviny, ropu a energii, muselo se dovážet i značné množství potravin.

Po skončení 2. světové války obsadili Japonsko Američané a Japonci byli konfrontováni s podstatně dokonalejší a hlavně spolehlivější americkou technikou. Toto ovlivnilo hlavního tvůrce dnešní japonské kvality Dr. Ishikawu. Podrobným studiem stavu zejména průmyslové výroby dospěl k přesvědčení, že „japonská společnost a její průmysl se chovají zcela neracionálně a že studiem kvality lze toto chování podstatně změnit“. Do Japonska byli pozváni přední američtí odborníci, např. Shewart (statistické metody zabezpečování kvality),

Feigenbaum (tvůrce filozofie komplexního řízení kvality), Juran (jeden z tvůrců praktického komplexního řízení kvality) a Dr. Deming (který s Japonci dlouhodobě spolupracoval na rozvoji japonského zabezpečování kvality). Japonci dokázali myšlenky amerických odborníků přijmout, přizpůsobit japonskému způsobu života a dále rozvinout a prohloubit.

Tak jako Dr. Juran označuje **komplexní řízení kvality** za revoluci v technice zabezpečování kvality, tak Dr. Ishikawa označuje japonské **celopodnikové zabezpečování kvality** (Company Wide Quality Control – CWQC) za revoluci myšlení v řízení vůbec.

Celopodnikové zabezpečování kvality (na rozdíl od komplexního řízení kvality) má dvojí význam:

- 1) zaměřuje se nejen na výrobky a služby, ale i na všechny činnosti v podniku a na vše, co s nimi souvisí,
- 2) současně vyjadřuje, že na neustálém zvyšování kvality se podílí každý pracovník podniku.

Moderní komplexní řízení kvality, jak se vyvíjelo v USA a v Evropě do počátku 80. let, se dá charakterizovat jako systém, zaměřený převážně na to, aby vyrobené součásti, díly i finální výrobky odpovídaly stanoveným specifikacím při minimálních ztrátách, způsobených zmetky a reklamacemi. Téměř ve všech amerických i evropských komplexních systémech řízení kvality se uplatňuje specializovaný útvar řízení kvality a silná specializovaná technická kontrola kvality, jako důsledek uplatnění převratných myšlenek amerického strojního inženýra F. W. Taylora (1856-1915) na dělbu práce a odpovědnosti (což byla první snaha o vědecké řízení výroby).

Je třeba zdůraznit dva podstatné rozdíly mezi komplexním řízením kvality a celopodnikovým zabezpečováním kvality: komplexní řízení kvality považuje za hlavní cíl bezvadné dodržení specifikací, zatímco celopodnikové zabezpečování kvality sleduje neustálé zvyšování kvality. Komplexní řízení kvality sice uvažuje specifickou odpovědnost každého pracovníka za kvalitu, ale řízení kvality přisuzuje jako specializovanou funkci útvaru řízení kvality. Japonci nevytvářejí útvary řízení kvality, funkci zabezpečování kvality decentralizují na všechny pracovníky podniku. Další zásadní rozdíl mezi japonským a „západním“ přístupem je v tom, že Evropa se zaměřovala více na organizační a technická opatření a systémy, na dodržování předepsaných parametrů výrobků, na „objektivní“ kontrolu.

Dalším propracováním přístupu CWQC nastal přechod na **Total Quality Management (TQM)**. Normy ISO řady 9000, které vznikly v r. 1987, byly již revidovány a inovovány v roce 1994 a poté v letech 2000, 2005 a 2015. Certifikace podle ISO 9001 se stala téměř nezbytnou podmínkou pro konkurenceschopnost.

Další vývoj managementu kvality vede ke spojení řízení kvality výroby a služeb s péčí o životní prostředí a bezpečnost, souhrnně označovanému jako **Global Quality Management (GQM)**, u nás nazývanému také integrovaný systémem řízení kvality.

1. Nástroje řízení kvality

Řízení kvality je soubor procesů, které musí výrobce nebo poskytovatel služby zajistit, aby jeho produkt splňoval požadavky na kvalitu.

Nástroje pro řízení kvality vznikaly na základě potřeby a zkušeností úspěšných firem a byly dále rozvíjeny podle konkrétních situací. Většina firem je převzala do svého systému a využívají jak základní nástroje, tak podle svých potřeb i nástroje střední i vyšší úrovně. [3]

Nástroje řízení kvality se dělí na několik úrovní:

- **7 základních nástrojů** (definovány ve 40. – 50. letech 20. století),
- **7 nových nástrojů** (definovány v 70. letech 20. století),
- **středně obtížné nástroje**,
- **pokročilé nástroje a metody**.

Základní nástroje propracované na přelomu 40. a 50. let 20. století v Japonsku prof. Ishikawou a Demingem (Američan působící po II. světové válce v Japonsku) mají zásadní význam při zpracování údajů, v prevenci kvality, při zdokonalování kvality, při analýze a řešení problémů nejen v průmyslu, ale také v oblasti služeb, a jsou určeny pro práci řídicích i řadových pracovníků.

Mezi **sedm základních nástrojů** (Seven Tools) patří:

- sběr dat: záznamy, tabulky, grafy a kontrolní formuláře,
- postupové (vývojové) diagramy a mapy vad,
- diagramy příčin a následků,
- Paretova analýza (Pareto Analysis),
- histogramy (Histograms),
- bodový diagram a stochastická závislost (regresní a korelační analýza),
- statistická regulace (Statistical Process Control - SPC).

Kromě sedmi základních nástrojů řízení kvality, které se uplatňují především při řešení problémů operativního řízení kvality, bylo definováno v 70. letech **sedm „nových“ nástrojů** řízení kvality, které napomáhají zejména k tomu, aby byla kvalita včleněna do každého manažerského rozhodnutí na všech úrovních řízení.

Tyto nástroje nenahrazují původní základní nástroje řízení kvality, ale slouží k jejich doplnění:

- afinitní diagram (Affinity Diagram),
- diagram vzájemných vztahů (Relations Diagram),
- systematický (strojový) diagram (např. analýza stromu poruch FTA Fault Tree Analysis),
- maticový diagram (Matrix Diagram),
- analýza údajů v matici (Matrix Data – Analysis),
- program procesu vyhodnocení (Process Decision Program Chart),
- síťový diagram.

Mezi **středně obtížné nástroje** kvality patří např.:

- hodnocení způsobilosti procesu, výrobního zařízení a měřidel,
- statistické přejímky,
- různé metody statistických odhadů a testů,

- metody smyslového hodnocení,
- metody plánování experimentů DOE (Design of Experiments).

Do skupiny **pokročilých specifických (netradičních) metod** zařadíme:

- pokročilé metody plánování experimentů,
- multivariantní analýzy (Multivariate Analysis, Multivariate Control Charts),
- různé metody operačního výzkumu,
- analýza rizik (Risk Assessment),
- metody FMEA návrhu a procesu (Fault Mode and Effect Analysis),
- metoda QFD (Quality Function Deployment),
- simultánní inženýrství (Simultaneous Engineering, Concurrent Engineering),
- metoda CPM (Critical Path Method),
- metoda PERT (Program Evaluation and Review Technique),
- hodnotové inženýrství (Value Engineering). [3]

2. Přehled základních nástrojů řízení kvality

K řízení a ovládání jakéhokoliv procesu potřebujeme **informace**. Základy teorie informace formuloval C. Shannon v r. 1948.

Informace je jakákoliv zpráva (výrok, tvrzení), kterou lze reálně nebo potenciálně použít k řízení systému. Je kvantitativním obsahem zprávy, abstraktním pojmem nehmotné povahy. Také je nedělitelná a je prostředkem pro komunikaci dvou nebo více subjektů (člověk - člověk, člověk - stroj, stroj - stroj).

Zpráva je materiálním nositelem informace (forma řeči, textu, posloupnost čísel atd.), která má kvalitativní i kvantitativní obsah.

Signál je fyzikální realizací zprávy ve formě určité fyzikální veličiny (např. elektrický proud).

Minimální informace je výrok, o němž má smysl rozhodnout, zda je nebo není pravdivý. Informační obsah této elementární informace je 1 bit nebo 1 Shannon (1 Sh).

Poznámka: Jednotka bit je také používána v poněkud odlišném významu k označení elementární paměťové kapacity, vycházející z odlišení 2 možných stavů logického zařízení při binárním zápisu.

Mezi závažné nedostatky v oblasti informačního zabezpečení procesu řízení patří:

- nedostatek potřebných informací,
- chybné nebo pozdní zpracování údajů,
- zkreslené informace.

Většina organizací má k dispozici dostatek dat (číselných hodnot, např. 7, 7, 6, 5, ...), ale chybí jim informace (souvislosti), které potřebují pro rozhodování.

Uvědomme si proto **rozdíl mezi daty a informacemi**:

- data jsou fakta,
- informace jsou odpovědi na otázky,
- informace obsahují data,
- data nemusí vždy obsahovat informace.

Vytváření informace se provádí na základě položené otázky, která je dána informační potřebou. Pro její odpověď provedeme sběr dat a jejich analýzu, na základě toho získáme sdělení, které odpoví na položenou otázku. [3]

2.1 Sběr dat – záznamy, tabulky, kontrolní formuláře a grafy

Prvotní údaje, které chceme účelně zaznamenat, vkládáme obvykle do předem připravených formulářů. Dotazníky nebo formuláře slouží k jednoduché, přehledné a rychlé evidenci potřebných údajů.

Formuláře mohou mít různou podobu, ale vždy musí být uveden výrobek, jeho kontrolovaný parametr nebo technologické místo, počet kontrolovaných vzorků, druh vady, jméno kontrolora, datum kontroly, údaje o výrobci atd. Mohou jimi být např. protokoly o kontrole, údaje o zkouškách, protokoly o přezkoumání materiálu, protokoly o nákladech na kvalitu.

Kontrolní formuláře, tabulky a záznamy o kvalitě se musí po určitou dobu uchovávat, aby bylo možné je použít pro rozbor trendů kvality, ke zlepšení účinnosti opatření, a tím k dalšímu zlepšení kvality. Uchovávané záznamy o kvalitě mají být chráněny proti poškození, ztrátě a znehodnocení vlivem nevhodného prostředí.

Dokumentace má obsahovat dostatečné podklady pro dosahování požadované kvality výrobků/služeb a účinnosti systému měření/řízení kvality, včetně dokumentace subdodavatelů. Veškerá dokumentace (např. výkresy, pokyny pro kontrolu, revizní zprávy, příručka kvality, postupy zabezpečování kvality) musí být čitelná, označená datem vyhotovení (včetně dat revizí), pohotově zjistitelná, dostupná a uspořádaně udržovaná. V systému řízení kvality je uvedena i metoda pro aktualizaci, výměnu, popř. skartaci dokumentů.

Více informací o psaní dokumentů lze zjistit v normách:

- ČSN 01 6910:2014 *Úprava dokumentů zpracovaných textovými procesory*
- ČSN ISO 690:2011 *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*
- ČSN ISO 7144:1997 *Dokumentace – Formální úprava disertací a podobných dokumentů*
- ČSN ISO 214:2001 *Dokumentace – Abstrakty pro publikace a dokumentaci*
- ČSN ISO 2145:1997 *Dokumentace – Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů*

Správné **psaní názvů veličin a jednotek** je uvedeno ve Vyhlášce MPO č. 264/2000 Sb., ve znění č. 424/2009 Sb., o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování. Tato vyhláška, která je výtahem z ČSN ISO 80 000 *Veličiny a jednotky – Část 1:2011 Obecně*, informuje o veličinách a jednotkách užívaných na území ČR.

Zde je uveden přehled norem, vztahujících se k danému tématu:

ČSN ISO 80 000 *Veličiny a jednotky – Část ...*

- 1:2011 *Obecně*, + O1:2013, + O2:2018, + Z1:2013;
- 7:2012 *Světlo*, + O1:2016;

ČSN EN ISO 80 000 *Veličiny a jednotky – Část ...*

- 2:2020 *Matematické znaky a značky používané v přírodních vědách a technice*;
- 3:2007 *Prostor a čas*, + O1:2016, + Z1:2013;
- 4:2020 *Mechanika*;
- 5:2020 *Termodynamika*;
- 8:2008 *Akustika*, + O1:2016;
- 9:2020 *Fyzikální chemie a molekulová fyzika*;
- 10:2020 *Atomová a jaderná fyzika*;
- 11:2013 *Podobnostní čísla*, + O1:2016;
- 12:2020 *Fyzika kondenzovaných látek*

ČSN EN 80 000 *Veličiny a jednotky – Část ...*

- 6:2009 *Elektromagnetismus*, + O1:2016;
- 13:2009 *Informatika*, + O1:2016;

Tabulky jsou výhodné pro přesný záznam naměřených dat, ale nevýhodou je horší názornost, a tím i vybavovací schopnost informace, kterou shromážděná data obsahují (proto se doporučuje sloupce i řádky číslovat nebo jinak označovat).

Základní části tabulek:

- **název:** má stručně a výstižně vyjadřovat obsah tabulky (píše se nad tabulkou),
- **hlavička:** má vyjádřit obsah jednotlivých sloupců, je vhodné uvést zaznamenanou veličinu a její jednotku (popř. rozměr),
- **legenda:** vyjadřuje obsah jednotlivých řádků,
- **políčko:** je průnik sloupce a řádku,
- **pole:** je množina všech políček,
- **poznámky:** *obecné* vztahují se k celé tabulce a uvádějí se pod nebo nad tabulkou, *zvláštní* týkají se jednotlivých údajů (v tabulce se vhodně označí místo a text poznámky se uvede pod tabulkou).

Tab. 1: Měření příkonu střídavého motoru (typ a identifikace motoru) [3]

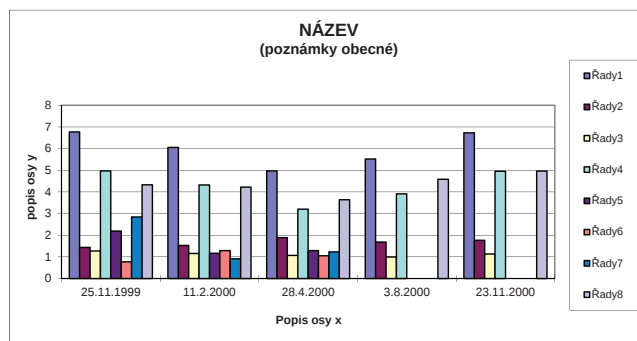
el. proud I_2 (A)					
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
k_{w1} (W/d)					
α_1 (d)					
P (W)					
k_{w2} (W/d)					
α_2 (d)					
Q (var)					
S (VA)					
$\cos \phi$ (-)					

Statistické grafy znázorňují statistická pozorování nebo statistický rozbor, vyjadřují souvislosti jevů nebo rozložení jevu podle různých hledisek.

Základní příslušenství grafů:

- **název:** je určujícím prvkem a má být u grafu, i když je graf začleněn v textu, (píše se pod graf)
- **poznámky:** *obecné* (umísťují se bezprostředně pod název grafu), *zvláštní* (uvádí se pod grafický obraz diagramu),

- vysvětlivky: mají vztah ke konkrétním částem grafu, vpisují se přímo do grafu, ale nesmí ohrozit jeho přehlednost a srozumitelnost,
- klíč (legenda): soustředěné vysvětlivky pro čtení grafu.



Obr. 1: Ukázka grafu [3]

2.2 Postupové (vývojové) diagramy

Znalost a využívání postupových diagramů patří mezi nejdůležitější činnosti při řešení úloh obecného řízení, administrativy, výroby a služeb, což se týká i výstavby systému zabezpečování kvality podle norem řady ČSN EN ISO 9000:2016, včetně systému měření.

Vedle pojmu postupový diagram (z angl. Flow Chart) se používají i pojmy průběhový diagram (z něm. Ablaufschema) nebo vývojový diagram, viz norma ČSN ISO 5807:1996 *Dokumentační symboly a konvence pro vývojové diagramy toku dat, programu a systému, síťové diagramy programu a diagramy zdrojů systému*.

Dělení symbolů:

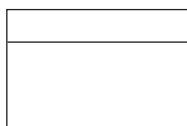
- symboly dat,
- symboly zpracování,
- specifické symboly zpracování znázornění.

Příklady symbolů:

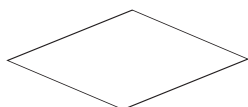
- 1. Zpracování** (proces, činnost) - představuje provádění určité činnosti v systému kvality.



- 2. Podrobnější znázornění** - pomocí proužkového symbolu s označením informuje o tom, že daná činnost je zvlášť řešena v jiné části systému jakosti.



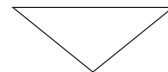
- 3. Rozhodování** - symbol představuje rozhodovací činnost



- 4. Spojka** - představuje výstup do jiné části vývojového diagramu a pokračování na jiném místě.



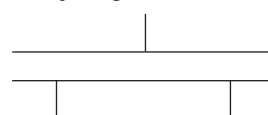
- 5. Konec** - představuje konec postupu činností v dané větvi diagramu



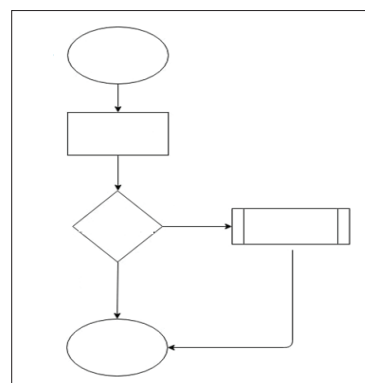
- 6. Spojnice** - představuje tok činnosti v systému (lze doplnit šipkou)



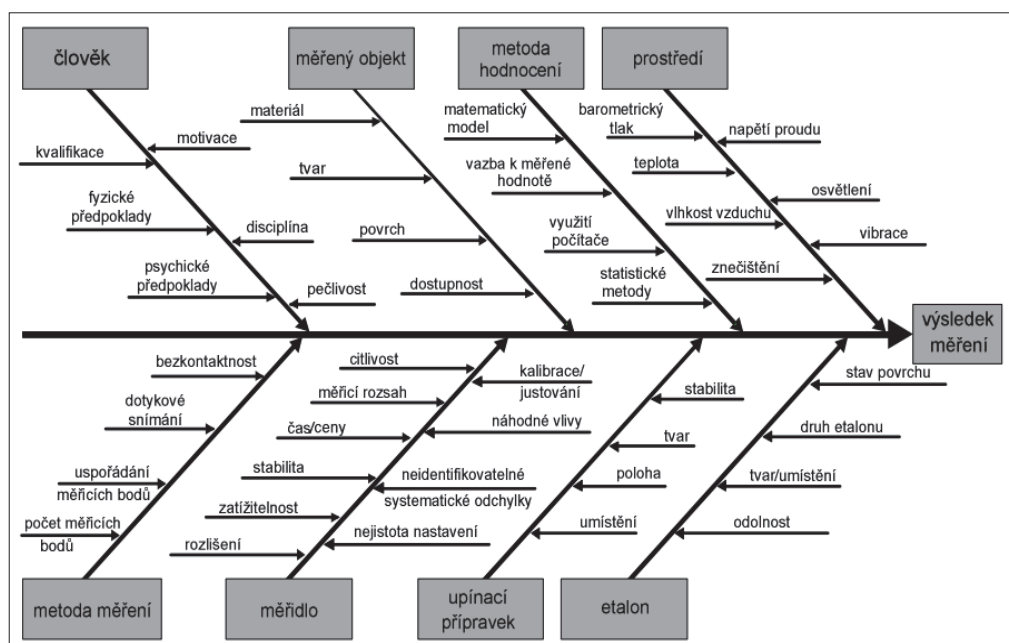
- 7. Paralelní zpracování** - představuje synchronizaci dvou nebo více paralelních činností. Tyto činnosti nemohou být zahájeny, pokud nejsou předchozí ukončeny.



- 8. Vzájemný vztah** - vztah dvou nebo více symbolů nebo ohraničení oblasti.



Obr. 2: Ukázka tvorby postupového diagramu



Obr. 3: Vlivy na nejistotu výsledků měření [8]

2.3 Diagramy příčin a následků

Základním a zároveň jednoduchým nástrojem řízení kvality je diagram příčin a následků, který se pro svůj tvar nazývá také diagram „rybí kostry“. Poprvé tento diagram sestavil Kaoru Ishikawa na univerzitě v Tokiu v roce 1943.

Ve své podstatě je diagram příčin a následků metodou k analyzování variability procesu. Smyslem diagramu je uvádět vztahy mezi příčinami a následky. Lze jím řešit libovolný i potenciální problém, kterému je třeba věnovat pozornost. Jako nástroj řízení je pochopitelný pro pracovníky na všech úrovních organizace a lze jej všude okamžitě uplatnit. Využívá se i při vyhledávání zdrojů nejistot, viz VDA [8, 9].

Podle využití se diagramy příčin a následků dělí:

2.3.1 Analýza proměnlivosti procesu:

Správná identifikace následku, hledáme znak kvality, který chceme vyřešit.

Hlavní příčina má přímý vztah k následku (kvalita, úroveň služeb, distribuční služby, objednávky,...), subpříčiny se určují z různých zdrojů variability:

6M (výroba): postupy, metody (Method), výrobní zařízení (Machine), lidé (Man power / Mind power), materiály (Material), měření (Measurement), okolní prostředí (Milieu),

9M: 6M + trh (Market), konkurence (Competition Market), management (Management),

7P: marketing (Product, Price, Place, Promotion, People, Positioning, Packaging),

5S: servis (Surroundings, Suppliers, Systems, Skills, Safety).

Určení subpříčin se provádí „brainstormingem“, nutno definovat vztah k hlavní příčině, lze využít metodu **5 x Proč** (5 x Why).

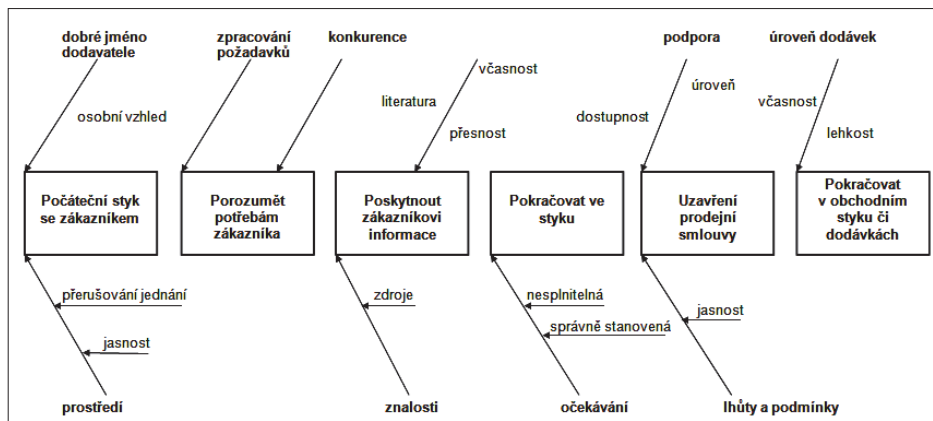
Výhody: pomáhá organizovat a uvádět činitele do vzájemných vztahů, dodává strukturu pro nové nápady pomocí „brainstormingu“, zapojí každého účastníka setkání.

Brainstorming soustřeďuje účastníky na cíl řešené problematiky a jeho výsledkem je vnuknutí nápadů a jejich třídění na užitečné kategorie, zejména v případech, použijeme-li metodu analýzy proměnlivosti procesu nebo metodu klasifikace procesu. Brainstormingové „vnuknutí nápadů“ jako druh inspirace je pak realizačním výstupem týmové práce.

Nevýhody: výsledky jsou někdy obtížně realizovatelné, jestliže vznikly pouze podle brainstormingového nápadu, diagram může být velmi složitý, jeho vytváření proto vyžaduje trpělivost.

2.3.2 Diagram klasifikace procesu:

pro zdokonalování procesu, seznámení se základními vlastnostmi, které ovlivňují každou dílčí operaci.



Obr. 4: Ukázka diagramu klasifikace procesu

Použijí se dva kroky: 1) vytvoření postupového diagramu, který tvoří páteř, 2) hledání příčin a subpříčin ke každému prvku nebo činnosti.

Výhody: diagram poskytuje jednoznačný přehled o procesu a činitelích ovlivňujících každý krok, může pomáhat i při stanovení osobní odpovědnosti.

Nevýhoda: obtížnější identifikace vzájemných vnitřních vztahů a jejich vymezení.

2.3.3 Diagram vyšetřování příčin:

Chaoticky se hledají subpříčiny, které se následně třídí do příčin (dle 6M), tvorba je podobná jako v odstavci 2.3.1, ale začíná se „od konce“.

Výhody: jednoduché zpracování, poskytnutí seriózního přehledu o všech možných příčinách.

Nevýhody: diagram se stává složitějším při určování vnitřních vztahů, tím se může prodloužit čas k vyřešení problematiky. V důsledku náhodného výstupu z brainstormingu může být výsledný diagram obtížně sestavitelný.

Diagram příčin a následků může vypracovat i jednotlivec, ale je výhodnější řešit jeho vypracování týmově s využitím brainstormingu.

Pro ulehčení práce při tvorbě diagramů příčin a následků se doporučuje:

a) Uvažovat v co nejširším pohledu

Při tvorbě diagramu se zamyslet nad problémem v co nejširším slova smyslu a uvažovat o politice, o problémech pracovníků, o takových problémech jako je místní či národní ekonomika. Lze předpokládat, že některé z těchto oblastí budou mimo dosah týmu, přesto je však užitečné porozumět dopadům z hledisek těchto faktorů.

b) Usnadnit si vlastní práci

Na počátku je pro tým velmi problematické vytvořit si optimální pracovní prostředí pro tvorbu diagramu. Lze proto použít stejného usnadnění, jako při brainstormingové práci tím, že tým má k dispozici svého moderátora a tím, že bude předem určen systém zapisování. Je proto vhodné, aby předem určený moderátor naslouchal myšlenkám účastníků, tyto myšlenky stručně přetvořil tak, že je vyjádří několika slovy a zapíše na určené místo nebo na správné místo v diagramu. Je nutné si uvědomit, že to je

dost obtížný požadavek, a proto je lepší, když zápis příčiny moderátor provede až po konzultaci s týmem.

c) Přezkoumání a dotvoření diagramu

Aby se zajistilo, že diagram je úplný, měl by si jej každý člen týmu dokonale prohlédnout (nejlépe i podruhé v dalším dnu), eventuálně by měl každý člen týmu požádat jednu až dvě osoby o vyjádření k diagramu z hlediska příčin zkoumaného následku. Proto je vhodné, aby tým na základě vlastní úvahy rozhodl o tom, zda je nutná následná nezávislá prověrka určitého řešeného problému.

d) Široká účast pracovníků

Chceme-li dodat úsilí všeobecnou tvůrčí činnost pro zdokonalování, ale i současně povzbuzovat okolí k nejširší účasti pracovníků z určitého pracoviště či z celého podniku, pak lze zveřejnit na vhodně zvoleném místě tabuli, na které je nakreslen problém jako následek. Členové týmu nebo vedoucí týmu určí problém, kterým se budou ostatní účastníci zabývat. Tento problém se stane následkem, a proto bude vždy zapsán do obdélníku v pravé části diagramu, nazývaného „rybí hlava“. Nyní je nutné, aby tým zajistil co nejvíce ostatních nečlenů týmu k tomu, aby se po určité době stali účastníky vytváření diagramu. Pokud se větší množství pracovníků zapojí do této činnosti, porozumí tím jak problému, tak jeho řešení.

Zřejmou nevýhodou tohoto přístupu je to, že původní řešitelský tým přijde o brainstorming. Nicméně písemné záznamy toho, co „nečlenové“ týmu poznamenali do diagramu, zobecňují vzniklé nápady či myšlenky.

e) Zaměřit se na žádoucí výsledek

Doporučuje se, aby do záhlaví „rybí hlavy“ byl raději zapisován požadovaný výsledek celé činnosti. Jinými slovy namísto zápisu „Zákazník je nespokojen“ je lepší napsat „100% spokojenost zákazníka“. Zkušenosti

ukazují, že nalezení způsobu k řešení takto formulovaného cíle je snazší než řešení problému nespokojenosti zákazníka.

Všeobecná doporučení pro týmovou práci při řešení diagramu příčin a následků:

- Uvažujte vždy o daném problému v co nejširších souvislostech.
- Využívejte moderátora při sestavování diagramu.
- V několika následujících dnech nechte členy týmu opět prohlédnout diagram.
- Někdy je výhodnější postupovat směrem k žádanému kladnému výsledku než směrem k problému.
- Pro zapojení co nejširšího okruhu spolupracovníků je vhodné umístit na přístupné místo velkou tabuli, na které je nakreslen problém jako následek.
- Organizujte týmy s počtem členů nejlépe 3 – 7, více než 10 členů komplikuje činnost týmu.
- Rozhodněte o pravidelných schůzkách.
- Dohodněte délku schůzky.
- Stanovte případy, kdy se schůzka týmu ruší.
- Na schůzky týmu chodte včas.
- Na schůzce týmu se věnujte pouze programu této schůzky, ostatní závazky zrušte.
- Odpovědnost za splnění cíle týmu má každý jeho člen.
- Naučte se poslouchat a respektovat názory členů týmu.
- Neexistují nevhodné otázky k danému problému.
- Kritizujte především názory a myšlenky, nikoliv nositele.

Dalšími jednoduchými nástroji řízení kvality jako jsou například Paretova analýza, histogramy včetně přehledu literatury se zabývá druhá část článku, která bude uveřejněna v dalším čísle.



AKTUALITY Z LEGÁLNÍ METROLOGIE

Ing. Zbyněk Veselák

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

V současné době je zpracována v české legislativě řada dokumentů pro harmonizaci právních předpisů s Evropskou unií. Nové definice základních jednotek SI jsou zahrnuty do novely současného zákona o metrologii. V této souvislosti je zajímavá informace, že BIPM vydal novou příručku (SI Brochure, vydání 2019) o mezinárodní soustavě jednotek SI s názornějším výkladem nových definic včetně jejich důsledku (effect of definitions). Dále byla do českého práva převzata nová nařízení Evropské unie o vzájemném

uznávání zboží, o uznávání protokolů o zkouškách a o dozoru nad trhem. V národní právní úpravě je ve středu pozornosti stav projednávání nového zákona o metrologii. Připomínkové řízení bylo ukončeno v prvním pololetí roku 2019, v současné době je návrh upravován podle připomínek legislativní rady vlády. K novým státním etalonům, které byly vyhlášeny v roce 2019 (jedná se o etalony geometrických rozměrů 3D objektů, velmi malých průtoků kapalin a elektrolytické konduktivity), přibyl v roce 2020 státní etalon příkonu fluence teplotních neutronů.



MĚŘENÍ TEPLOTY LIDSKÉHO TĚLA

Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

Český metrologický institut

Měření tělesné teploty patří k nejstarším diagnostickým metodám. První měření realizoval již v 17. století anglický fyzik Richard Lower (*1631 – †1691), který studoval zejména oblast neurologie a krevních transfuzí. První rtuťový teploměr zkonstruoval D. G. Fahrenheit v r. 1714. Od roku 1744 je využívána všem dobře známá Celsiova stupnice a první klinický teploměr vytvořil skotský fyzik James Currie na začátku 19. století [1].

Tělesná teplota je označení pro přirozenou teplotu daného organismu, za které dochází k jeho obvyklému fungování. Je produktem metabolismu, který organismu zabezpečuje energii potřebnou pro jeho fungování. Zdravý organismus zachovává rovnováhu mezi produkcí a výdejem tepla [2]. Nikdo z nás nemá v průběhu života stabilní tělesnou teplotu, jelikož ta je ovlivněná např. věkem, denní dobou, tělesnou aktivitou, hormony nebo okolím. Obvyklá tělesná teplota je nezávislá na počasí, ale vlivem rychlých klimatických změn může snadno poklesnout či stoupnout nad svoji normální hranici. Horečkou je obvykle nazýván stav, kdy tělesná teplota (teplota tělesného jádra) vystoupá nad hodnotu 38 °C [3]. Horečka obvykle indikuje, že náš organismus pravděpodobně bojuje s infekčním onemocněním, může se však objevit i u jiných onemocnění jako jsou např. vnitřní krvácení nebo trombóza. Při zvýšení tělesné teploty nad hodnotu 40 °C již našemu organismu začínají hrozit vážné problémy (např. křeče, poruchy vědomí nebo riziko dehydratace). Na základě výše nastíněné situace je jasné, že pro co nejlepší diagnostiku pacienta a správné vyhodnocení symptomů, potřebujeme mít k dispozici spolehlivou metodu měření tělesné teploty.

Tělesná teplota se obecně liší v závislosti na měřeném místě osoby. Za tzv. zlatý standard je považována teplota krve v plicní tepně (core teplota), její měření je invazivní, tudíž vhodné zejména pro chirurgické aplikace [4]. Jako náhradních metod je užíváno měření kontaktní (orální, axilární), dnes stále více užívané měření bezkontaktní (ušní nebo čelní teploměry) a měření částečně invazivní (rektální, měření teploty v jícnu a v trávicím traktu). V klinické praxi u dospělé populace jsou nejčastěji používány teploměry axilární, orální nebo bezkontaktní. Rektální měření teploty je rozšířené jednak v pediatrii, jednak se používá při zátěžových testech organismu a různých výzkumných úkolech medicíny

Tabulka 1: Přehled běžných teplot u zdravého člověka na různých místech měření [4]

Způsob měření	Běžná teplota, °C
Rektálně (konečník)	36,6 až 38,0
Orálně (v ústech)	35,5 až 37,5
Axilárně (podpaždí)	34,7 až 37,3
Tympanálně (v uchu)	35,8 až 38,0
Temporálně (spánková tepna)	35,8 až 37,8

spolu s měřením v jícnu nebo trávicím traktu. Běžné teploty zdravého člověka by se u jednotlivých míst měření měli pohybovat v intervalech uvedených v **tabulce 1**.

Možnosti měření tělesné teploty

Obecně můžeme metody měření a tím i používané teploměry rozdělit do dvou velkých skupin na kontaktní a bezkontaktní. Do bezkontaktních měřidel teploty je kromě čelních (kožních) a ušních teploměrů správně zařadit i termokamery, které zažily svůj boom s nástupem pandemií SARS a COVID-19. Je nutné vyjasnit jejich pozici a vhodný účel použití, případně nastavit i konkrétní požadavky na jejich metrologickou specifikaci.

Ještě donedávna nejrozšířenější kategorií tvořily **skleněné teploměry** s kapalnou kovovou náplní a maximálním zařízením (indikuje maximální dosaženou teplotu). Do r. 2009 byly nejčastěji využívány teploměry s rtuťovou náplní. V rámci nařízení EU není možné zakoupit tyto teploměry a je nutné použít jinou náplň. Na trhu je možné nalézt náhradu těchto teploměrů s kovovou náplní, která není nebezpečným odpadem, nejčastěji se jedná o slitiny gallia. Zde se však objevuje problém s jejich používáním (obtížná sklepatelnost) a proto jejich popularita klesá. Často je pro sklepaní potřeba použít speciálních přípravků nebo centrifug. Funkční rtuťové teploměry starší výroby lze používat i nadále. Měření teploty pomocí těchto teploměrů trvá několik minut.



Obr. 1: Skleněný teploměr s galliovou náplní



Obr. 2: Teploměry se změnou fáze

Další možností kontaktního měření tělesné teploty je využití **teploměrů se změnou typu fáze**. Při pohledu na ně uživatel vidí matici drobných bodů na plastové destičce, přičemž každý bod obsahuje jinou chemickou směs, která při specifické teplotě mění svůj stav.

Tato změna je provázána změnou vzhledu, nejčastěji barvy. Při dotyku s místem, kde se měří teplota (ústa, podpaží, pokožka), probíhá změna barvy postupně až do bodu odpovídajícího místní teplotě. Cena těchto teploměrů se pohybuje v řádech jednotek nebo maximálně několika desítek korun za jeden teploměr, přesto představují velmi spolehlivou metodu měření teploty. Jejich ideálním využitím může být například při pobytu v nemocnici, kdy pacient při nástupu jeden takový teploměr dostane, a používá ho po celou dobu hospitalizace. Tyto teploměry existují i v nalepovací verzi, což může

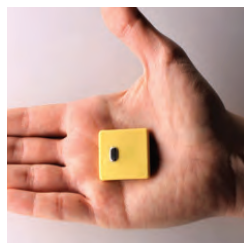
ulehčovat monitorování teploty např. u miminek a malých dětí bez nutnosti jejich buzení. Měření tímto teploměrem trvá obvykle cca 1 až 3 minuty.

V současnosti asi nejrozšířenější variantu kontaktních teploměrů představují kompaktní **elektronické teploměry**. Používají se stejně jako skleněné (měření v podpaží, v rektu, orálně), ale místo analogové stupnice se výsledek měření objevuje na displeji většinou již po cca 10 až 15 sekundách.



Obr. 3: Digitální elektronický teploměr

Speciální kategorii představují **elektronické teploměry pro kontinuální měření**, které jsou určeny pouze pro klinickou praxi (nepřetržitě monitorování stavu pacienta); technické parametry stanovuje evropská norma ČSN EN ISO 80601-2-56. V příspěvku se nebudeme tímto druhem teploměrů zabývat.



Obr. 4: Příklad smart teploměřního senzoru

V dnešní době je možné narážet i na různé „**smart teploměry**“, u kterých jsou měřená data sbírána automaticky, například přes rozhraní Bluetooth do mobilní aplikace nebo do počítače. Měření teploty může probíhat nepřetržitě a k odečtu hodnot není nutná fyzická přítomnost ošetřujícího personálu u pacienta nebo rodič rušící spící dítě. Samotný senzor se nalezí na vhodné místo na těle (např. do oblasti podpaží), jeho velikost je cca (20 x 20 x 3) mm a má v sobě integrovanou dobíjecí baterii pro nepřetržitý provoz senzoru v řádu několika dní.

Před detailnějším popisem bezdotykových teploměrů je na začátek vhodné zmínit, že se fyzikálně jedná o zcela jiný princip měření než u kontaktních teploměrů. U bezdotykových teploměrů a termokamer je teplota měřena na základě detekce elektromagnetického záření, které vyzařuje jakýkoliv objekt s teplotou vyšší, než 0 K.

Toto záření prochází optikou měřidla, která zabezpečí jeho dopad na citlivý detektor a tato hodnota je následně (často neznámým algoritmem) přepočtená na výslednou teplotu. Obecně se rozšířená nejistota bezdotykového měření teploty při teplotách (30 až 40) °C pohybuje v rozmezí (0,5 až 1,0) °C.

Ušní bezdotykové teploměry, jak již název napovídá, se používají pro měření teploty v ušním kanálku. Teploměr je v kontaktu s uchem, přesto se jedná o měření bezdotykové, teploměr měří teplotu v prostoru ušního kanálku. Jelikož je měřicí hrot teploměru zasouván do zvukovodu, je nutné



Obr. 5: Ušní lékařský teploměr

každé měření provádět s hygienickým náplekem (což např. u nemocnic může být významný dodatečný náklad), dále je také nutné zabezpečit čistotu hrotu, aby nedocházelo k útlu žádání dopadajícího na detektor, a v neposlední řadě, vyžaduje tento způsob měření určitou zkušenost při aplikaci. Při dodržení všech zásadních požadavků se jedná o přesnou a rychlou metodu měření teploty.

Druhou a v současné době asi i nejpobulárnější skupinu bezdotykových teploměrů tvoří **čelní/kožní teploměry**. Při

tomto způsobu měření teploměr snímá energii vyzařovanou povrchem lidského těla (obvykle na čele pacienta) a tento tepelný tok je převáděn určitým implementovaným algoritmem na teplotu. Měření se provádí v určité vzdálenosti od povrchu čela (definováno výrobcem), přiložením teploměru na čelo (i zde se může objevit pochybnost, jestli se opravdu jedná



Obr. 6: Čelní lékařský teploměr

o bezdotykové měření – v přímém kontaktu s povrchem čela je pouze obal/krytka teploměru, takže jde opravdu o bezdotykové měření) nebo skenováním teploty v určité oblasti např. od středu čela ke spánku, podél spánkové tepny. Povrchové měření teploty i v průmyslových aplikacích není triviální záležitostí a stejně je to i v případě aplikace v medicínských podmínkách. Všechny výše zmíněné metody měří tělesnou teplotu buď v přirozeně vytvořené dutině (ústa, konečník, zvukovod) nebo v něčem, co můžeme nazvat její aproximací (podpaží). Proto lze proto předpokládat, že podmínky v těchto místech jsou stabilní, a ne lehce ovlivnitelné např. okolními podmínkami. Měření teploty jakéhokoliv povrchu, i povrchu lidského těla, je nejen ovlivněno schopností těla „protlačit“ vnitřní teplotu těla na jeho povrch, ale výrazně také okolními podmínkami, ve kterých se člověk nachází (např. okolní teplota, průvan, přítomnost make-upu) a v neposlední řadě také fyziologickými projevy lidského těla samotného, mezi které patří např. pocení nebo mastná kůže. Při znalosti těchto skutečností je nasnadě vznést otázku, zda je opravdu možné pomocí těchto teploměrů měřit teplotu lidského těla s přesností $\pm 0,3$ °C tak, jak požaduje norma ČSN EN ISO 80601-2-56, jaká je reálná nejistota tohoto měření a je-li možné se na tento způsob měření teploty spoléhat. Odpověď na tuto otázku již delší dobu hledáme a, s největší pravděpodobností, bude negativní (s důsledky vyjmutí s druhového seznamu stanovených měřidel). Výhodou tohoto způsobu měření je jeho rychlost v řádu několika sekund.

Existují také teploměry, které umožňují realizaci obou výše zmíněných bezdotykových metod měření a je jen na uživateli, který režim bude využívat.

Poslední skupinou měřidel, které je možné využít pro měření tělesné teploty lidského těla, jsou **termokamery**. Fyzikální princip měření je stejný jako u bezkontaktních teploměrů, ale výsledkem tohoto měření není jedno číslo, nýbrž matice hodnot, která je graficky reprezentována výsledným termogramem. Již dříve (epidemie SARS), tak i v souvislosti s proběhlou první vlnou pandemie COVID-19 se začaly na

různých místech instalovat termokamery s cílem rychlé kontroly teploty přicházejících osob např. do úřadů nebo nemocnic. Problematikou měření tělesné teploty pomocí termokamer se zabývá norma ČSN EN IEC 80601-2-59, která definuje, že tyto systémy mají měřit teplotu s přesností $\pm 0,5$ °C včetně započtené nejistoty měření. Norma také definuje minimální technické požadavky na systém, nejen minimální měřicí rozsah (30 až 40) °C, ale také třeba minimální rozlišení výsledného obrazu (320 x 240) px, průběžnou „kalibraci“ systému prostřednictvím černého tělesa na hodnotě teploty blízké teplotě tělesné nebo že smí být měřena pouze jedna osoba a její obličej má zabírat na termogramu určitou minimální plochu. Místo pro měření teploty lidského těla norma definuje jako oblast přiléhající k očnímu kanálku. Zde však nastává několik problémů, především s vyloučením vlivu brýlí nebo všudypřítomných roušek, které zasahují do měřené oblasti. Po prostudování dostupných materiálů o systémech, které se v České republice využívají, je možné konstatovat, že většina systémů jako oblast měření teploty využívá čelo, u kterého platí vše, co bylo popsáno výše u bezdotykových teploměrů. Termokamery jsou na místa určení instalovány z důvodu rychlé selekce přicházejících osob. Cílem měření je tedy odhalit potenciálně nakaženého člověka nebo člověka s teplotou ještě před vstupem do vnitřních prostor. Zde však hrozí vysoké riziko falešně pozitivního nebo negativního výsledku měření např. i v závislosti na právě probíhajícím ročním období. Výrobci stanovují použití termokamer většinou pouze ve vnitřních prostorách, takže se instalují do vstupních prostor budov. Kamera je tedy chráněna před okolními vlivy (výkyvy), ale přicházející člověk není (to samozřejmě platí i pro měření IČ teploměrem).

Jak bude ukázáno v pozdější části příspěvku, splnění podmínek pro dosažení ideálního prostředí pro realizaci bezdotykového měření teploty není jednoduché (dá-li se vůbec uvažovat o tom, že je to reálné) a má daleko od toho být rychlé, i když samotný akt měření je otázkou několika sekund.

Co na stávající situaci říká platná legislativa?

Vzhledem k proběhlé pandemii viru SARS-CoV-19 se měření tělesné teploty dostalo opět do širokého zájmu veřejnosti. Teplota může být jedním z příznaků tohoto onemocnění, proto jsou po celém světě vyvíjeny aktivity, jak zakomponovat měření tělesné teploty i na dosud ne tolik obvyklá místa, jakými jsou vstupní areály do různých komplexů či institucí. Velkým problémem je však spolehlivost používaných metod, jak již bylo nastíněno v předchozí části.

Pro měření tělesné teploty v domácnosti je možné použít jakýkoliv teploměr, který je možné na trhu koupit a dokud mu uživatel věří, tak není potřeba podnikat žádné kroky. Pravidelné kalibrace nebo ověření nejsou nutné. Před použitím teploměru je žádoucí si detailně prostudovat přiložený návod k použití pro minimalizaci rizika vzniku možných chyb a tím také zkrácení měřené hodnoty. Při nesprávném použití bezdotykových teploměrů můžeme pozorovat chybu měření jednoho stupně Celsia, i více.

V případě měření teploty osob na veřejně dostupných místech či ve veřejně přístupných zařízeních, kde se uplatňuje veřejný zájem v podobě ochrany zdraví, může být

(a také je) výsledek měření spojován s konkrétními technickými a metrologickými požadavky na měřidla teploty. To samé platí pro měření teploty osob pro diagnostické účely, tj. v ordinacích nebo nemocnicích.

Pokud tato měřidla a účel jejich použití, splňují definici tzv. zdravotnického prostředku s měřicí funkcí dle zákona č. 268/2014 Sb., o zdravotnických prostředcích a o změně zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů (dál jen „zákon o ZP“), resp. dle Nařízení vlády č. 54/2015 Sb. (dále jen „NV“), uplatní se technické požadavky stanovené tímto nařízením vlády na předmětné zdravotnické výrobky při jejich uvádění na trh. Předmětné nařízení implementuje do právního řádu ČR evropskou legislativu [5].

Na trh a do provozu tak může být podle § 7 NV uveden zdravotnický prostředek, pokud u něho byla stanoveným způsobem posouzena shoda jeho vlastností se základními požadavky, výrobek je opatřen označením CE, výrobce vydal o tom písemné prohlášení o shodě a byly k němu přiloženy informace o jeho použití v českém jazyce v souladu s NV. V souladu s ustanovením § 58 zákona o ZP pak může být při poskytování zdravotnických služeb použit pouze zdravotnický prostředek, u kterého bylo vydáno prohlášení o shodě, a který byl opatřen označením CE.

Některé zdravotnické prostředky s měřicí funkcí se po uvedení na trh a do provozu mohou stát stanoveným měřidlem ve smyslu zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, jsou-li používány s významem dle § 3 odst. 3 tohoto zákona (např. pro ochranu zdraví), a jsou-li současně uvedeny jako druh měřidla ve vyhlášce č. 345/2002 Sb., ve znění pozdějších předpisů, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Tento případ nastává v podmínkách platné právní úpravy metrologie v ČR například u elektronických lékařských teploměrů, kam spadají i ušní a čelní bezdotykové teploměry. Doba platnosti ověření jsou 2 roky.

U termokamer zatím situace není jednoznačná a jejich pozice v legislativním rámci ČR se teprve vyjasňuje. Na základě proběhlých diskusí i s jinými organizacemi (ÚNMZ, SÚKL) se formují dva názorové proudy. První nepovažuje termokamery za zdravotnické prostředky s měřicí funkcí, protože výrobci termokamer neuvádějí, že se jedná o zařízení pro lékařské nebo diagnostické účely.

Druhý názorový proud se přiklání k variantě, že termokamery, použité byt jenom pro preventivní screening a prvotní selekci osob, spadají do režimu zdravotnických prostředků s měřicí funkcí, protože jejich použití a účel splňuje definici zdravotnického prostředku s měřicí funkcí.

Směrnice Rady 93/42/EHS (MDD) ze dne 14. června 1993 a zákon 268 ze dne 22. října 2014 definuje jako *zdravotnický prostředek* nástroj, přístroj, zařízení, programové vybavení, materiál nebo jiný předmět, použitý samostatně nebo v kombinaci, včetně programového vybavení určeného jeho výrobcem ke specifickému použití pro diagnostické nebo léčebné účely a nezbytného k jeho správnému použití, *určený výrobcem pro použití u člověka za účelem:*

- stanovení diagnózy, prevence, monitorování, léčby nebo mírnění choroby,

- stanovení diagnózy, monitorování, léčby, mírnění nebo kompenzace poranění nebo zdravotního postižení,
- vyšetřování, náhrady nebo modifikace anatomické struktury nebo fyziologického procesu,
- kontroly počtů.

Od 26. 5. 2020 vstupuje v platnost nové nařízení EP a Rady (EU) 2017/745 (MDR, jeho účinnost byla dne 23. 4. 2020 odložena o jeden rok, tj. na 26. 5. 2021) a to definuje *zdravotnický prostředek* jako jakékoliv měřidlo, zařízení, přístroj, software, implantát, činidlo materiál nebo jiný předmět určený výrobcem k použití, samostatně nebo v kombinaci, pro člověka pro jeden nebo více z následujících specifických lékařských účelů: diagnóza, prevence, monitorování, predikce, prognóza, léčba nebo zmírnění nemoci.

U všech výše zmíněných předpisů je jasně zmíněný účel prevence nemoci/onemocnění, což koresponduje s využitím daných systémů – nalezení osob se zvýšenou teplotou, jakožto potenciální přenašeči onemocnění.

Při pohledu na propagační materiály jednotlivých výrobců je možné nalézt následující formulace:

- „firma jako reakci na aktuální potřeby vyvinula prostředek pro bezkontaktní měření / screening tělesné teploty pomocí termografické kamery“,
- „teplotní screening umožňuje automatickou detekci osob se zvýšenou teplotou a jejich selekci, případně zabránění dalšího vstupu do prostoru“,
- „automatická detekce horečnatých projevů (COVID, virové a bakteriální nákazy)“,
- „společnost reaguje na vysoké riziko globálního šíření infekčních chorob (aktuálně ve spojení s corona virem) a investovala prostředky na vybudování systému ...“,
- „umožňuje měřit povrchovou teplotu lidské kůže, a proto je použitelná pro detekci nárůstu tělesné teploty člověka v důsledku probíhající virové či bakteriální infekce“,
- „termokameru lze použít k detekci prakticky všech typů virových (standardní chřipka, SARS-CoV2, ptáčí chřipka, prasečí chřipka, SARS, EBOLA, koronavirus apod.) nebo i bakteriálních chorob“,
- „ve světě, kde globální cestování znamená, že se infekce mohou rychle rozšiřovat, je teplotní snímání lidí jednou z možností, jak snížit riziko šíření nemoci. Monitorovací systém porovnávající měření s pevně nastavenou kalibrovanou teplotou umožňuje vzdálené měření teploty lidského těla (obvykle obličej) s přesností do 0,5 °C, což umožňuje detekovat malé změny teploty vyvolané horečkou...“,
- „rychlé a přesné odhalení horečky s pomocí termokamery“,
- „jedná se o technologii, která umí detekovat zvýšenou teplotu u osob pomocí bezdotykového měření a tím snižuje riziko výskytu chřipky, spalniček nebo jiných nebezpečných nemocí ve Vaší společnosti“.

Výrobci v rámci propagace svých výrobků tedy lákají na využití termokamer jako preventivního zařízení, které má zabránit nebo minimálně napomoci k odhalení potenciálně rizikových osob a zabránit jim vstup do daného objektu. U většiny výrobců je ale také možné nalézt upozornění (psané malými písmeny, případně až na samém konci propagačních materiálů), že podezřelé osoby je nutné proměřit některým

z konvenčních teploměrů a teprve na základě tohoto měření má být aplikována případná sankce. Má-li to být ale pravda, proč jsou u všech systému deklarovány přesnosti měření tělesné teploty na úrovni $\pm (0,3 \text{ až } 0,5) ^\circ\text{C}$? S podobnou přesností $\pm 0,3 ^\circ\text{C}$ teoreticky měří i čelní teploměry, které se často používají jako kontrolní konvenční teploměr. Kdyby se i na tyto zařízení nahlíželo jako na zdravotnické prostředky s měřicí funkcí, byla by stanovena jasná pravidla ohledně podmínek jejich použití a pravidelných kontrol, v opačném případě je na každém majiteli, jak s daným měřicím zařízením bude zacházet a starat se o něj.

Možnosti metrologické charakterizace

Pro skleněné teploměry definuje technické parametry evropská norma ČSN EN 12470-1 + A1 a ta také stanovuje, že jejich přesnost je definována intervalem $(+ 0,10; - 0,15) ^\circ\text{C}$. Jejich metrologická kontrola se provádí v kapalinové lázni porovnáním s odporovým teploměrem a není zde jakýkoliv problém s návazností na požadované úrovni nejistot.

Pro teploměry se změnou typu fáze neboli s bodovou matricí, definuje technické parametry evropská norma ČSN EN 12470-2+A1. Jeden bod matice musí odpovídat alespoň $0,1 ^\circ\text{C}$ a přesnost teploměrů definuje v intervalu $(+ 0,1; - 0,2) ^\circ\text{C}$. Stejně jako u skleněných teploměrů, ani zde není problém realizovat potřebnou návaznost.

Pro lékařské elektronické teploměry (do této kategorie spadají jak kontaktní, tak bezkontaktní teploměry) definuje norma ČSN EN ISO 80601-2-56 požadavek na laboratorní přesnost při normálním použití $\pm 0,3 ^\circ\text{C}$. Ke zkoušce je potřebná kapalinová lázeň nebo černé těleso definované v příloze této normy. Rozšířená nejistota měření teploty kapalinové lázně nebo černého tělesa musí být maximálně $0,07 ^\circ\text{C}$ ($k = 2$), pro stanovení teploty kapalinové lázně má být použitý etalonový teploměr s rozšířenou nejistotou nejvýše $0,02 ^\circ\text{C}$ ($k = 2$). U kalibrace nebo ověření kontaktních lékařských teploměrů tedy nenastává problém s metrologickou návazností a jejich měření není těžké realizovat.

Pro kalibraci bezdotykových lékařských teploměrů norma upřesňuje také požadavky na používané černé těleso, které má být realizováno jako dutina s emisivitou blízkou jedné. Norma zde odkazuje např. na americkou normu ASTM E1965-98 (2016), ve které se nachází detailní náčrt černého tělesa, které může být pro tyto účely použito (jedná se o kónickou dutinu). I tato norma uvádí, že použité černé těleso má mít emisivitu blízkou jedné, což u dutinových černých těles ponořených do kapalinové lázně není problém. Pro návaznost ušních bezdotykových teploměrů je tedy možné zabezpečit metrologickou návaznost kalibrace nebo ověření dle požadavků zmíněných norem.

Problémem u čelních/kožních teploměrů je jejich fixní (a ne vždy známá) emisivita. Teploměry mají v sobě nejčastěji nastavenou emisivitu na hodnotu v rozmezí $(0,97 \text{ až } 0,98)$. Z tohoto důvodu není vhodné je kalibrovat v dutinových černých tělesech používaných pro teploměry ušní, případný přepočít na jinou emisivitu může být zatížen chybou i několik desetin $^\circ\text{C}$, co je vzhledem k požadované přesnosti zcela nevyhovující. Proto jsou využívána desková černá tělesa

s emisivitou 0,95 a možností softwarově změnit jejich emisivitu na potřebnou hodnotu 0,97 až 0,98. Zde se však dostáváme do konfliktu s požadavky normy ČSN EN ISO 80601-2-56. Není možné zabezpečit rozšířenou nejistotu kalibrace tohoto tělesa na hodnotu maximálně 0,07 °C, protože návaznost tohoto typu tělesa má být provedena přes bezdotykový teploměr. Reálná rozšířená nejistota realizovaného měření na tomto tělese se bude v optimistických případech pohybovat cca kolem hodnoty 0,6 °C, což je dvojnásobná hodnota přesnosti, o které má proces ověření rozhodnout. V současné době není autorce tohoto článku známa žádná laboratoř, která by dokázala splnit metrologické požadavky kladené touto normou pro kalibraci (ověřování) čelních / kožních teploměrů.

Zabezpečením metrologické návaznosti screeningových systémů využívajících termokameru se zabývá norma ČSN EN IEC 80601-2-59. V ní je stanoveno, že kalibrační zdroj musí mít zabezpečenou návaznost na teplotní stupnici ITS-90 a nalezneme v ní požadavek na rozšířenou nejistotu tohoto zdroje nepřekračující 0,2 °C a kombinovanou stabilitu a drift lepší než $\pm 0,05$ °C. To je možné dosáhnout využitím dutinových černých těles ponořených do kapalinové lázně, ostatně i norma předepisuje, že emisivita použitého černého tělesa pro kalibraci v laboratoři musí mít hodnotu emisivity rovnou nebo větší než 0,998. Dále norma uvádí, že používané systémy musí být v provozu pravidelně kontrolovány černým tělesem s rozšířenou nejistotou $\pm 0,3$ °C a dále specifikovanými požadavky na jeho stabilitu a drift. Uvedené požadavky není triviální splnit, ale existují postupy jakými se na požadované nejistoty dostat, když bude nutné měření realizovat, i v rámci primární laboratoře ČMI.

Doporučené postupy pro práci s teploměry pro měření teploty lidského těla

Vzhledem k rozličnosti teploměrů, které mohou být použity pro změření teploty lidského těla, nelze jednoduše zobecnit zásady pro co nejlepší realizaci měření platné pro všechny teploměry. Obecně lze říci, že před použitím jakéhokoliv teploměru je nutné si přečíst jeho návod, ve kterém by mělo být mimo jiné vyspecifikováno místo měření a případně potřebná doba temperace či samotného měření. Pro jednotlivé druhy teploměrů je ale možné sepsat několik pravidel, kterých by se měl uživatel držet, ať má teploměr od jakéhokoliv výrobce.

U digitálních teploměrů je vhodné dodržovat následující:

- teploměr je nutné zapnout a vyčkat na ukončení kontrolní procedury,
- teploměr se zavede/umístí na místo měření,
- měření obvykle končí, když je dosažena stabilní hodnota (může to trvat několik sekund až minut), teploměr pípnutím ukončení měření sám ohlásí. Stabilní hodnota bývá zpravidla stanovena jako stav, kdy se měřená hodnota již nemění po určitou dobu, např. 5 vteřin.

Při měření pomocí bezdotykových čelních teploměrů je nutné dodržet následující podmínky, pro dosažení relevantního výsledku měření [6]. Tyto podmínky by měli být dodrženy i v případě měření pomocí termokamer.

- cca 30 minut před zahájením měření by se měl pacient i teploměr nacházet v místnosti s konstantní teplotou (stejnou),

- přístroj je nutné chránit před extrémními teplotami, nárazy a pády, silným slunečním zářením, přímým kontaktem s vodou,
- použití teploměru v nepřiměřených podmínkách (ventilace vzduchu, prach, parazitní tepelné zdroje či zdroje záření) může vést k chybnému měření,
- před měřením je nutné odstranit z čela pot, vlasy, kosmetické prostředky a nečistoty,
- měření není vhodné provádět u osob s poruchami cévního systému v oblasti čela podél spánkové tepny,
- obroučky brýlí, některé typy tetování, piercing či jiné kovové předměty mohou zkreslovat tepelné poměry v měřené oblasti,
- teplota kojence nemá být měřena během kojení ani bezprostředně po kojení,
- před nebo během měření by pacient neměl pít, jíst a provozovat sportovní aktivity,
- teplota nemá být měřena bezprostředně po sprchování, plavání atd., když je ucho nebo čelo mokré,
- teplota na čele nesmí být měřena ihned po sejmutí pokrývky hlavy,
- dvě po sobě jdoucí měření by měla být provedena s odstupem alespoň 30 s,
- jedno měření teploty na čele je nedostatečné, význam má pouze měření opakované,
- teplota by měla být měřena vždy na stejném místě, jinak je možné, že naměřené hodnoty budou kolísat,
- po spaní se doporučuje s měřením teploty pár minut počkat.

I přes dodržení všech výše uvedených podmínek se nemusíme doměřit správné hodnoty, jak vyplývá z **tabulky 2**. Pomocí pěti bezdotykových teploměrů bylo proměřeno 9 osob, ti si také změřili teplotu digitálním teploměrem v podpaží. Tento teploměr byl předem zkontrolován měřením v lázni. Jak se vidět z naměřených výsledků, tak všechny teploměry ukazyvaly na čele vyšší teplotu, než byla teplota změřená v podpaží. Průměrná odchylka měření je cca 1 °C, v extrémních případech ukazyvaly teploměry u některých osob i o více než 2 °C více, což už nejsou zanedbatelné rozdíly. Údaje jednotlivých teploměrů se příliš neshodovaly, průměrná odchylka byla cca 1,0 °C, což je více než požadovaná přesnost daného teploměru.

Tabulka 2: Odchylky měření teploty bezdotykovým čelním teploměrem od digitálního, hodnoty jsou uvedené ve °C

Teploměr	žena, 32 let	muž, 49 let	žena, 41 let	muž, 57 let	muž, 30 let	muž, 30 let	muž, 35 let	žena, 50 let	muž, 29 let
ozn. 1	0,6	0,8	1,4	1,1	0,5	1,4	0,5	1,2	1,7
ozn. 2	0,7	0,2	1,6	1,3	0,8	1,4	0,7	1,3	1,7
ozn. 3	0,7	1,4	1,0	1,0	0,8	1,3	0,8	1,6	2,2
ozn. 4	0,6	1,6	1,5	1,1	0,9	1,8	0,8	1,4	1,9
ozn. 5	0,5	0,9	1,6	0,9	0,7	1,6	0,6	1,7	2,0
max - min	0,2	1,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,3	0,5	0,6
průměrná odchylka	0,6	1,0	1,4	1,1	0,8	1,5	0,7	1,4	1,9

Při použití ušních teploměrů by měly být dodržovány následující zásady [6]:

- nejvyšší hodnoty teploty jsou dosaženy při zachycení infračervených paprsků ze středního ucha (ušního bubínku). Paprsky vyzařované okolní tkání poskytují nižší naměřené hodnoty.
- při měření je nutné narovnat zvukovod tak, že ucho uprostřed lehce táhneme směrem dozadu a současně nahoru. U dětí mladších jednoho roku ucho táhneme pouze směrem dozadu.
- hrot teploměru je opatrně zaveden do zvukovodu, dokud neucítíme lehký odpor. Hrot musí být zaveden dostatečně hluboko.
- hrot teploměru a skleněná čočka senzoru musí být pro měření vždy čisté, informace o tom, jak provádět čištění teploměru, najdete vždy v návodu k teploměru,
- nashromáždí-li se na měřicím senzoru ušní maz, může to vést k nepřesnostem při měření teploty,
- po očištění měřicího senzoru ubrousíky napuštěnými lihem je nutné počkat cca 15 minut, než bude provedeno další měření, aby teploměr mohl dosáhnout potřebné provozní teploty,
- naměřené hodnoty se v každém uchu mohou lišit, proto by měla být teplota měřená vždy ve stejném uchu,
- je-li předepsáno používání jednorázových krytů, musí být vyměněny po každém měření. Jestliže jednorázové kryty předepsány nejsou, musí být úzkostlivě dodržována čistota optiky,
- pokud jste leželi na uchu, může být teplota naměřená krátce poté v tomto uchu zvýšená,
- měření nesmí být prováděno v uchu, které vykazuje nějaké zánětlivé onemocnění, ani po poranění ucha (např. poškození ušního bubínku) nebo ve fázi léčení po operativních zákrocích. Měřit teplotu v uchu nelze ani v případě, že byly do ucha aplikovány léky.

Na závěr je dobré zmínit ještě jednu poznámku:

„ani vysoká cena teploměru koupeného v lékárně nemusí zaručit, že teploměr bude správně fungovat“.

Zahraniční spolupráce

Vzhledem k masivnímu rozšíření bezdotykových teploměrů a termokamer pro měření teploty lidského těla se tato problematika po nějaké době útlumu dostala opět i do hledáčku zahraničních metrologických institutů. Na celosvětové úrovni se v rámci BIPM (*Bureau international des poids et mesures*), pod pracovní skupinou pro bezdotykové měření teploty (*Working Group for Non-Contact Thermometry - WG NcTherm*) v rámci CCT (*Consultative Committee for Thermometry*) vytvořila skupina se zaměřením na měření tělesné teploty (*CCT Task Group for body temperature measurement*), ČMI je členem této skupiny. Na začátku července byla prostřednictvím videokonference realizována první schůzka všech členů.

Pro nově vytvořenou skupinu jsou zatím navrženy následující činnosti:

- realizace klíčového porovnání v oblasti černých těles pro kalibraci teploměrů ušních, čelních a termokamer,

- shromáždit současně používané osvědčené postupy měření tělesné teploty v a) zdravotnických službách b) na letištích případně v dalších screeningových aplikacích po celém světě,
- vypracovat souhrnný přehled používaných metod měření tělesné teploty společně s jejich plasy a mínusy,
- přezkoumání stávajících norem a spolupráce s odpovídajícími standardizačními skupinami (např. ISO, IEC), které mají na starost vydávání příslušných norem týkajících se měření tělesné teploty.

Cílem je při řešení dané problematiky úzce spolupracovat jak s koncovými uživateli, tak i dodavateli a výrobci daných zařízení při identifikaci problémů a nalezení vhodných řešení.

V případě zájmu je v plánu pozdější rozšíření zaměření pracovní skupiny na všechny rutinní formy klinického měření tělesné teploty, případně převedení této skupiny do formy standardní pracovní skupiny CCT.

Závěr

Způsobů, jakými je možné měřit teplotu lidského těla, je několik, ovšem cesta za získáním správného výsledku není ve spoustě případů vůbec jednoduchá, jak bylo ukázáno v předcházejících částech příspěvku. S ohledem na hygieničnost celého procesu měření se s příchodem pandemie onemocnění COVID-19 začala ve velké míře opět využívat bezdotyková měřidla, u kterých je však velkou otázkou míra spolehlivosti naměřených hodnot. Proto se i na mezinárodní scéně zformovala pracovní skupina, která se bude touto problematikou zabývat a snad v horizontu cca necelému roku jsou očekávány první výstupy z činnosti této skupiny a možnost jejich implementace do reálných podmínek.

Literatura

- [1] http://noel.feld.cvut.cz/vyu/x31zle/Lectures/10_Teplota.pdf, červen 2020
- [2] <https://www.lekarnickekapky.cz/leky/spravne-po-uzivani-leku/zvysena-teplota-tela-kdy-ji-snazovat.html>, červen 2020
- [3] <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/fever/symptoms-causes/syc-20352759>, červen 2020
- [4] Převzato z J. Vojtišek, *Měření tělesné teploty – známá neznámá*, časopis Metrologie 2/2011
- [5] Směrnice Rady 93/42/EHS ze dne 14. června 1993 o zdravotnických prostředcích, *ve znění*:
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/79/ES ze dne 27. října 1998,
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/70/ES ze dne 16. listopadu 2000,
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/104/ES ze dne 7. prosince 2001,
Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1882/2003 ze dne 29. září 2003 a
Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/47/ES ze dne 5. září 2007
- [6] Měření teploty bezkontaktními teploměry ve zdravotnictví, MPM 3.2.3/01/16, říjen 2016, web české metrologické společnosti dne 12. 6. 2020, http://spolky.csvts.cz/cms/sites/default/files/mpm_3230116_lekar-ske_infrateplomery_0.pdf

MĚŘENÍ TEPLoty PROUDÍCÍ VODY V TEPELOVODECH A HORKOVODECH O VELKÉM PRŮMĚRU

Ing. Petr Komp

KROHNE CZ, spol. s r. o.

1. Úvod

Měření teploty proudícího média v potrubích a kanálech je častou měřicí úlohou zejména v chemii a v energetice. Měří se teploty proudících spalin, plynů, spalovacího vzduchu, syté a přehřáté páry, napájecí, topné i chladicí vody, parního kondenzátu a mazutu.

Jmenovité světlosti potrubí sahají od desítek milimetrů po několik metrů, střední rychlosti proudění dosahují i hodnot desítek m/s.

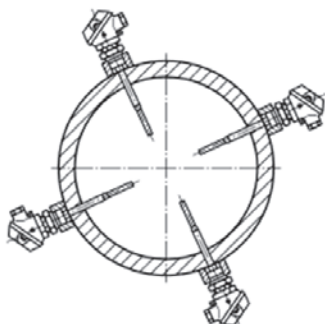
Relativně samostatnou oblastí je měření teploty topné vody proudící potrubích teplovodů a horkovodů pro účely měření množství tepla předaného vodou.

V době řešení úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19 nebyl způsob montáže snímačů teploty do potrubí o větší jmenovité světlosti v ČSN EN 1434 ani v jiných normách nebo metrologických předpisech podrobně zpracován a závisel na projektantovi a/nebo zhotoviteli měřicího místa.

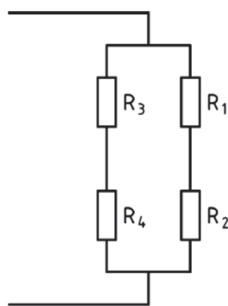
Odporové snímače teploty jsou umístěny v potrubí s vyšší teplotou i v potrubí s nižší teplotou a jsou párovány, to znamená že jsou vyrobeny tak, aby vykazovaly pokud možno nízkou nejistotu rozdílu měřených teplot o obvyklém pracovním rozsahu.

Způsob měření tepla s vodou jako teplonosnou látkou je popsán v normě ČSN EN 1434 1÷6. Způsob montáže snímačů teploty je zde podrobně popsán pro potrubí o jmenovité světlosti do DN 250 (ČSN EN 1434 2 květen 2016).

V normě ČSN EN 1434-6 květen 2016 a v ČSN EN 1434-6+A1 duben 2020 v dodatku A1, kapitole A.7 je osazení snímačů teploty do potrubí velkých průměrů (nad DN 250) v topných zařízeních, která mohou pracovat s nízkým průtokem a může dojít ke vzniku laminárního proudění doporučeno provést tak, aby se měřicí body rozprostřely přes oblast potrubí a zachytily rozvrstvení a tím se provede měření teploty, které je blíže aritmetickému průměru, viz [1] a **obr. 1**. Použité odporové snímače teploty (měly by se použít 4 páry) se zapojí vždy 2 a 2 páry sérioparalelně, viz **obr. 2**.



Obr. 1



Obr. 2

V normě ČSN EN 1434-6+A1 duben 2020 v dodatku A1, kapitole A.7 je tento způsob uveden jako doporučení bez jakéhokoli upřesnění polohy a hloubky ponoru snímačů teploty.

Tomu odpovídá technická praxe při realizaci sestav pro měření tepla předaného vodou v západní Evropě, kde se používá sérioparalelní zapojení odporových snímačů teploty s různými hloubkami zanoření tak, aby měření probíhalo ve více bodech průřezu potrubí a výsledek měření lépe odpovídal skutečné střední rychlosti proudění.

Autor tohoto článku se podílel v letech 2011 až 2018 na návrhu a realizaci několika měřicích sestav pro měření tepla předaného vodou v potrubích DN 400 až DN 1200. Ve všech případech byly odporové snímače teploty instalovány tak, aby snímací část byla v ose potrubí. Po realizaci bylo rovněž prováděno měření tvaru rychlostního profilu proudící vody v potrubích DN 200 až DN 1200 (s využitím servisních funkcí tříkanálových ultrazvukových průtokoměrů firmy KROHNE) a ve všech případech byla zjištěna existence vírů, která by podle názoru autora měla zajistit rovnoměrné rozložení teploty v převážující části průřezu potrubí.

Existence těchto vírů byla prokázána a následně úspěšně eliminována osazením usměrňovačů průtoku před ultrazvukovými průtokoměry (důvodem osazení usměrňovačů průtoku bylo dosažení minimální nejistoty měření průtoku ultrazvukovými průtokoměry).

V ČR se pro dodávky tepla používají i velká potrubí v průměrech DN 300 až DN 1200.

Měření teploty teplonosné látky má významný vliv na měření tepla ve velkých průměrech potrubí. Naměřené teplo je ve většině případů vstupní hodnotou pro další hodnocení ztrát tepla v rozvodné síti a má významný podíl v kalkulaci cen tepla konečným odběratelům.

Při dodávkách tepla v potrubích DN 300 až DN 1200 protéká přes jednotlivé měřicí soupravy velké množství topné vody a je nutné zajistit velmi vysokou přesnost těchto měření. Zvýšení přesnosti měření tepla v desetínách procenta se v konečném výsledku může promítnout v jednotkách milionů Kč.

V tomto příspěvku bych rád popsal úvahy, které vedly k řešení úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19 tak, jak je uveden ve Zprávě pro závěrečnou oponenturu.

2. Proudění topné vody v potrubí

Zpracovatel ČSN EN 1434 předpokládá možnost vzniku laminárního proudění v potrubí s topnou vodou, tj. dosažení Reynoldsova čísla $Re \leq 2300$.

Předpokládejme topnou vodu o následujících parametrech:

teplota $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (běžná hodnota pro potrubí s nižší teplotou topné vody, tzv. vrat),

kinematická viskozita $\nu = 0,478 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2\text{s}^{-1}$.

Pak Reynoldsovo číslo Re je dáno vztahem

$$Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu}$$

kde v_s je střední rychlost proudění měřené kapaliny v potrubí.

Lze tedy snadno stanovit podmínku vzniku laminárního proudění v potrubí tak, že nebude překročena limitní hodnota Reynoldsova čísla $Re_{\max} \leq 2300$, která závisí na střední rychlosti proudění topné vody v potrubí.

Hodnoty střední rychlosti proudění pro potrubí DN 300 až DN 1200 jsou uvedeny v **Tabulce 1**, hodnoty Reynoldsova čísla pak v **Tabulce 2**.

Z výsledků vyplývá, že ani v extrémních podmínkách letního provozu, kdy je prováděn jen ohřev teplé užitkové vody, nejsou splněny podmínky pro vznik laminárního proudění topné vody v potrubí.

Pozorný čtenář si navíc jistě uvědomí technické obtíže měření objemového průtoku topné vody při takto nízkých středních rychlostech proudění.

Proudění topné vody v potrubí DN ≥ 300 bude tedy vždy turbulentní, doprovázené vznikem vírů, a to i v dlouhých přímých úsecích potrubí. Hlavní podmínka rozvrstvení, uvedená v dodatku A1, kapitole A.7 normy ČSN EN 1434-6+A1 duben 2020 tedy nemůže ani v extrémních situacích v provozu nastat.

Přesto podle názoru zpracovatele normy je doporučeno měřit teplotu v potrubí 4 snímači i za cenu toho, že bude využito sérioparalelní dvou vodičové zapojení dvou párů odporových snímačů teploty a podle doporučení také dvou vodičové připojeno k matematickému členu.

3. Možné problémy při respektování doporučení ČSN EN 1434 v dodatku A1, kapitole A.7

U potrubí o jmenovité světlosti DN 300 a vyšší lze předpokládat délku jednotlivých kabelů k odporovým snímačům teploty nejméně několik metrů a matematický člen je často umístěn ve vzdálenosti několik desítek metrů od odporových snímačů teploty, obvykle v místě dobře přístupném obsluze, protože se jedná o místo odečtu množství dodaného tepla.

Je nutno také uvažovat s dodatečnou svorkovnicí, chráněnou před vlivy povětrnosti, s nutností dodržet přesně shodné délky kabelů mezi svorkovnicí a jednotlivými snímači a s případnými přídatnými vlivy délky propojovacích kabelů, přídatných přechodových odporů a termoelektrických napětí na nejistotu měření teplotního rozdílu.

V případě zapojení odporových snímačů teploty podle **obr. 2** se přírodní kabely stávají součástí odporových snímačů teploty a změna jejich rezistance v závislosti na teplotě okolí přímo ovlivňuje velikost měřené teploty. To je ostatně hlavní důvod používání třívodičového nebo čtyřvodičového zapojení odporových snímačů teploty při měření teploty odporovými snímači teploty.

Pokud bude souprava pro měření tepla předaného vodou použita jako stanovené měřidlo, nelze výše uvedeným způsobem odporové snímače teploty zapojit doporučeným způsobem, protože tento postup není uveden v certifikátu MID (pokud by se jednalo o měřidlo uvedené na trh pro oblast platnosti směrnice MID) ani ve schválení typu měřidla odporového snímače teploty a matematického členu.

Tabulka 1: Střední rychlost proudění v závislosti na DN potrubí a objemovém průtoku

DN mm	Objemový průtok topné vody potrubím ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)											
	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	5 000
Střední rychlost proudění vody v potrubí ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)												
300	0,039	0,39	0,79	1,18	1,57	1,97	2,36	2,75	3,14	3,54	3,93	19,65
400	0,022	0,22	0,44	0,66	0,88	1,11	1,33	1,55	1,77	1,99	2,21	11,05
500	0,014	0,14	0,28	0,42	0,57	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,41	7,07
600	0,010	0,10	0,20	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69	0,79	0,88	0,98	4,91
700	0,007	0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,51	0,58	0,65	0,72	3,61
800	0,006	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50	0,55	2,76
900	0,004	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,44	2,18
1 000	0,004	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,28	0,32	0,35	1,77
1 200	0,002	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,20	0,22	0,25	1,23

Tabulka 2: Velikost Reynoldsova čísla v závislosti na DN potrubí a objemovém průtoku

DN mm	Objemový průtok topné vody potrubím ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)											
	10	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 000	5 000
Reynoldsovo číslo Re (-)												
300	24 665	246 653	493 305	739 958	986 611	1 233 264	1 479 916	1 726 569	1 973 222	2 219 874	2 466 527	12 332 636
400	18 499	184 990	369 979	554 969	739 958	924 948	1 109 937	1 294 927	1 479 916	1 664 906	1 849 895	9 249 477
500	14 799	147 992	295 983	443 975	591 967	739 958	887 950	1 035 941	1 183 933	1 331 925	1 479 916	7 399 582
600	12 333	123 326	246 653	369 979	493 305	616 632	739 958	863 285	986 611	1 109 937	1 233 264	6 166 318
700	10 571	105 708	211 417	317 125	422 833	528 542	634 250	739 958	845 666	951 375	1 057 083	5 285 415
800	9 249	92 495	184 990	277 484	369 979	462 474	554 969	647 463	739 958	832 453	924 948	4 624 738
900	8 222	82 218	164 435	246 653	328 870	411 088	493 305	575 523	657 741	739 958	822 176	4 110 879
1 000	7 400	73 996	147 992	221 987	295 983	369 979	443 975	517 971	591 967	665 962	739 958	3 699 791
1 200	6 166	61 663	123 326	184 990	246 653	308 316	369 979	431 642	493 305	554 969	616 632	3 083 159



Obr. 3: Příklad realizace měření teploty podle doporučení v ČSN EN dodatku A1, kapitole A.7 (realizace v zahraničí)

4. Realizace úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19

Cílem úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19 bylo ověřit možnost vzniku teplotních gradientů při praktické aplikaci měření teploty topné vody v horkovodním potrubí. Při formulaci úkolu byly uvažovány následující požadavky:

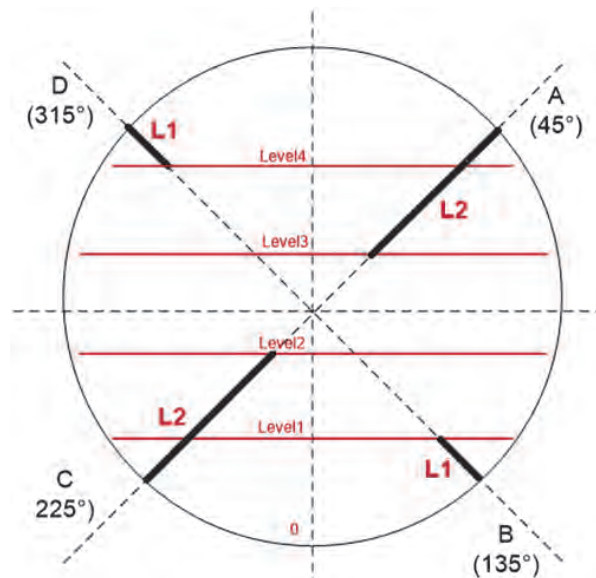
- dostatečně velký jmenovitý průměr potrubí, na kterém bude zkouška provedena,
- nalezení pokud možno dlouhého přímého úseku před místem měření aby mohlo dojít k případné stratifikaci a tím i vzniku teplotního gradientu,
- rozmístění snímačů teploty ve vodorovném potrubí tak, aby byly snímány teploty pokud možno rovnoměrně po výšce vodorovně umístěného potrubí,
- přiblížit se rozsahem provozních teplot reálnému provozu horkovodního potrubí,
- eliminace hrubých chyb měření vhodným uspořádáním měřicí sestavy, zejména použitím čtyřvodičového propojení mezi snímači a vyhodnocovacím zařízením.

5. Poznámky k vlastní realizaci úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19

Vlastní měření bylo provedeno na horkovodním potrubí DN 700 a to v potrubí s vyšší teplotou, kde se teplota vody pohybuje v rozsahu 80 až 130 °C, i v potrubí s nižší teplotou, kde je teplota za běžných provozních stavů obvykle v rozsahu 60 až 80 °C.

Přímý úsek před měřicím místem byl cca 40 m, což je technicky dosažitelné maximum (horkovodní potrubí je opatřeno kompenzátory a bývá obvykle problém nalézt dostatečně dlouhý přímý úsek potrubí pro montáž průtokoměru pro měření množství tepla předaného vodou)

Bylo zvoleno rozmístění snímačů teploty tak, jak je uvedeno na obr. 3, měřili jsme teplotu tedy spíše v „rovinách“ než v „kvadrantech“, viz obr. 4.



Obr. 4: Schematické umístění snímačů teploty v průřezu potrubí

Pro záznam měřených hodnot byla navržena a vyrobena měřicí ústředna.

Podrobný popis vlastní realizace měření nalezne čtenář v [1].

6. Naměřené hodnoty a jejich vyhodnocení

Vzhledem k objemu získaných a vyhodnocovaných dat byla výsledková a teoretická část zprávy včetně vyhodnocení a závěru zpracována jako samostatná příloha Zprávy pro závěrečnou oponenturu [2].

O plnění úkolu programu rozvoje metrologie

V teoretické části je uveden podrobný teoretický rozbor rozdělení teplot v potrubí s proudící kapalinou včetně určení druhu proudění v potrubí, kde byly teploty měřeny.

V části vyhodnocení jsou podrobně popsány výsledky kalibrace měřicí sestavy před montáží, dále je provedeno vyhodnocení naměřených hodnot ve čtyřvodičovém zapojení odporových snímačů teploty k měřicí ústředně.

V závěru výsledkové části jsou uvedeny odkazy na literaturu, použitou při zpracování teoretické části zprávy.

7. Závěr

Výsledky, získané řešením úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19 ukázaly, že za všech běžných provozních stavů nedochází k rozvrstvení topné vody ve vodorovných potrubích podle hustoty (a tedy i teploty), které by mohlo ovlivnit nejistotu měření rozdílu teplot topné vody v potrubí s vyšší teplotou a v potrubí s nižší teplotou, způsobem, který by byl podstatný.

Při praktické realizaci měření množství tepla předaného vodou v potrubí o jmenovité světlosti DN 300 a vyšší musí projektant nebo realizátor rozhodnout o umístění odporových snímačů teploty. Podle názoru autora tohoto článku je optimální umístit odporové snímače teploty tak, aby jejich snímací část byla přibližně v ose potrubí.

To vyžaduje mimo jiné jímku odporového snímače teploty navrženou tak, aby bylo za všech provozních sta-

vů zajištěno měření teploty bez vzniku chvění s frekvencí blízkou vlastní rezonanční frekvenci jímky a současně byla jímka pevnostně dimenzována tak, by síly působící na jímku při jejím obtékání měřenou kapalinou nezpůsobily v místě upevnění jímky k potrubí vyšší než dovolené mechanické ohybové napětí.

Při návrhu jímky je možno využít výpočtové programy a navrhnout tak jímku, která výše uvedeným požadavkům vyhoví.

Při použití správně navržených jímek a snímání teploty topné vody přibližně v ose potrubí a čtyřvodičovým propojením odporových snímačů teploty s matematickým členem jsou splněny technické požadavky na měření rozdílu teplot při množství tepla předaného vodou v potrubích o jmenovité světlosti ≥ 300 mm.

Z hlediska zpracovatele normy by postačilo rozšířit doporučení platné pro potrubí o světlosti $\leq$ DN 250 na celý používaný rozsah jmenovitých světlostí potrubí. Projektanti a dodavatelé by tak mohli správně navrhovat a realizovat měřicí místa pro měření tepla předaného vodou v teplovodech a horkovodech o jmenovité světlosti $\geq$ DN 300.

Literatura:

- [1] Zpráva pro závěrečnou oponenturu o plnění úkolu programu rozvoje metrologie č. VIII/20/19
- [2] Výsledková a teoretická část k výstupní zprávě k úkolu č. VIII/20/19, <https://www.unmz.cz/metrologie/rozvoj-v-metrologii/program-rozvoje-metrologie/vybrane-vystupy-z-programu-rozvoje-metrologie/meridla-tepla/>



PARAMETRY OVlivNÚJÍCÍ MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU

Mgr. Kateřina Drbálková

*Český metrologický institut
Slovenská technická univerzita, Strojnická fakulta*

Abstrakt:

V článku s názvem „Tonometrie“, který byl vydán v Metrologii 4/2019 a 1/2020, byly popsány možnosti metrologického zabezpečení kontaktních a bezkontaktních očních tonometrů v Českém metrologickém institutu. Oční tonometry jsou přístroje pro měření nitroočního tlaku. Nitrooční tlak (IOP) je jedním z nejdůležitějších parametrů v diagnostice glaukomu (neboli zeleného zákalu), je závislý na rovnováze mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny. Úplný klinický obraz u glaukomového onemocnění není charakterizován pouze zvýšeným nitroočním tlakem, ale také exkavací (vyhloubením) a atrofií (nevyvinutím) disku zrakového nervu. Typickým poškozením je odumírání svazků nervových vláken, což se projevuje drobnými změnami a výpadky v zorném poli pacienta a může končit úplnou ztrátou vidění. Podle posledních údajů Světové zdravotnické organizace (World Health Organization) je glaukom třetí nejčastější příčinou slepoty ve světě [1] a odhaduje se, že do roku 2020 se výskyt glaukomu až dvojnásobí [2].

Procesy tvorby a odtoku nitrooční tekutiny mohou být ovlivňovány řadou různých vnějších i vnitřních faktorů, které vedou ke změně nitroočního tlaku oka.

Nitrooční tlak a jeho význam

Velikost a stabilita nitroočního tlaku jsou dány harmonií mezi produkcí, cirkulací a odtokem komorové vody zpět do krevního řečiště. Při narušení jedné z těchto fází, nastává nerovnováha a dochází ke změně očního tlaku v oku. Pod pojem glaukom zařazujeme skupinu očních onemocnění, která jsou charakterizována změnami na sítnici, při kterých obvykle dochází ke zvýšení nitroočního tlaku v oku. Zelený

zákal má spoustu společných znaků, ale také řadu odlišností. Zásadní význam při glaukomu (zeleném zákalu) mají struktury předního segmentu oka tvořené rohovkou¹, řasnatým tělískem², komorovým úhlem³, přední a zadní oční komorou i terčem zrakového nervu⁴ na zadní vnitřní vrstvě oka. Nejpodstatnější je sledování dynamiky nitrooční tekutiny, aktuální hodnoty nitroočního tlaku a stavu cévního zásobení tkání oka. Také zornice má významnou úlohu v průtoku nitrooční tekutiny ze zadní komory do přední komory.

Nitrooční tlak je závislý na tvorbě nitrooční tekutiny a odporu odtokových cest, k překonání odporu odtoku nitrooční tekutiny musí být produkováno odpovídající množství komorové vody. Tudiž poměr mezi produkcí a vstřebáváním komorové vody určuje hodnotu nitroočního tlaku, u glaukomu je nitrooční tlak vyšší, protože odtok komorové vody je zhoršený pro obstrukci nebo porušenou funkci trámčiny v úhlu přední komory, kudy nitrooční tekutina protéká póry do Schlemmova kanálu⁵.

Za fyziologické hodnoty nitroočního tlaku, zpravidla (10 - 20) mmHg, se považují ty hodnoty, při kterých nedochází k poškození nervových tkání sítnice a je zachována integrita oka (udržení strukturálních i optických parametrů oka) [3]. Průměrný nitrooční tlak je 16,5 mmHg se směrodatnou odchylkou 2,5 mmHg. Zvýšený nitrooční tlak nemusí být vždy známkou glaukomového onemocnění, pokud nejsou přítomny žádné

- 1 Rohovka je průhledná vrstva pokrývající přední segment oční koule.
- 2 Řasnaté tělísko je část střední vrstvy oční koule a je místem, kde se tvoří nitrooční tekutina
- 3 Komorový (duhovko-rohovkový) úhel se nachází v přední oční komoře a je tvořen přední plochou duhovky, řasnatým tělískem, rohovkou a bělímou.
- 4 Terč zrakového nervu je místem výstupu nervových vláken ze sítnice, který zde pak opouští oko jako zrakový nerv.
- 5 Schlemmův kanál je drobný žilní splav v oku, který se nachází v blízkosti komorového úhlu v přední oční komoře.

funkční a morfologické změny na očním pozadí, může se jednat o tzv. oční hypertenzi. To ale platí i naopak, glaukom se může vyvinout i při normálním, a dokonce nižším nitroočním tlaku.

Tvorba, dynamika a odtok nitrooční tekutiny

Přední a zadní oční komora jsou naplněny nitrooční tekutinou (komorovou vodou), fyziologicky je tato kapalina hypertonická s vysokou koncentrací kyseliny askorbové a s malým obsahem proteinů, je velmi podobná krevní plazmě. Komorová voda plní mnoho funkcí a je významným činitelem při udržování vnitřního prostředí a objemu oka. Zajišťuje výživu a zásobení okolních nitroočních tkání (čočky, rohovky, sklivce) kyslíkem a živinami, obstarává odvod jejich metabolitů, odstraňuje zánětlivé buňky a je součástí optického systému oka o indexu lomu 1,336.

Nitrooční tekutina je tvořena v epitelu řasnatého (ciliárního) tělíska, je produkována procesem aktivní sekrece a pasivní ultrafiltrace z krevní plazmy při uplatnění principu aktivního transportu a osmotického gradientu mezi zadní oční komorou, ciliárním svaem a stromatem duhovky. Jednodušeji řečeno, tekutina vzniká v zadní komoře v ciliárním tělísku, prostorem mezi zadní plochou duhovky a přední plochou čočky přes zornici proudí do přední oční komory, dostává se do duhovko-rohovkového úhlu, kde je odtok zajištěn dvěma cestami – konvenční a nekonvenční cestou.

Hlavní (konvenční) cesta odtoku nitrooční tekutiny přes trabekulum⁶ prochází z přední oční komory přes póry v trámčině v duhovko-rohovkovém úhlu do Schlemmova kanálu a následně do sběrných kanálků episklerálních cév a zpět do krevního oběhu. Trabekulární cestou opustí přední komorou až tři čtvrtiny nitrooční tekutiny, tento průtok komorové vody je závislý na síle nitroočního tlaku oproti nekonvenční cestě.

V menším množství odtéká nitrooční tekutina uveosklerální (nekonvenční) cestou odtoku podél intersticiálních prostorů řasnatého tělíska, cévnatky či skrze suprachoroidální prostor přes sklér, anebo podél vaskulárních kanálků ve sklěře do pojivové tkáně očnice, odtud pokračuje dále

venózní cestou do celkového krevního oběhu. Tento způsob odtoku nitrooční tekutiny představuje zhruba 20 % celkové drenáže nitrooční tekutiny a s věkem se snižuje, přičemž u zdravého člověka tento úbytek nastává od 60 let věku života.

Celkový odtok nitrooční tekutiny F_{out} lze zapsat jako součet trabekulárního (konvenčního) odtoku F_{trab} a uveosklerálního (nekonvenčního) odtoku F_u vztahem:

$$F_{out} = F_{trab} + F_u.$$

Celkový odtok komorové vody je uváděn v jednotkách $\mu\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. Jelikož je konvenční odtok závislý na velikosti IOP , respektive gradientu mezi hodnotou IOP a episklerálním žilním tlakem P_e , označujeme tuto schopnost odtoku (tzv. odtokovou snadnost) proměnnou C_{trab} , proto můžeme pro zjednodušení celkový odtok komorové vody zapsat vztahem

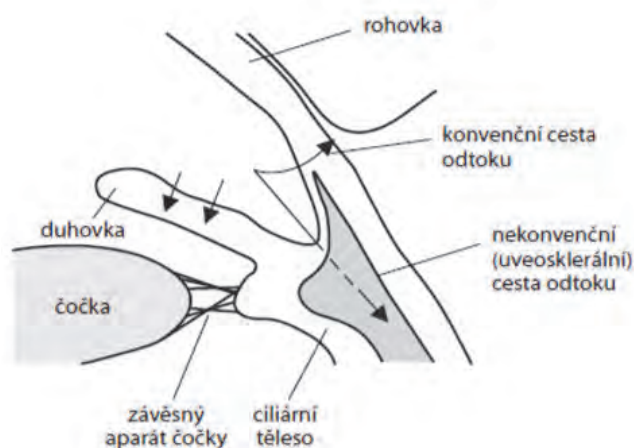
$$F_{out} = C_{trab} (IOP - P_e) + F_u.$$

Je-li produkce a vstřebávání nitrooční tekutiny v normě (viz text výše), můžeme pro celkovou tvorbu F_{in} a odtok F_{out} , při kterém jsou oba jevy ve vzájemné rovnováze, odvodit vztah pro nitrooční tlak ve tvaru

$$IOP = \left[\frac{F_{in} - F_{out}}{C_{trab}} \right] + P_e.$$

Faktory ovlivňující hodnotu nitroočního tlaku

Tvorba a odtok komorové vody jsou ovlivňovány řadou různorodých vnějších i vnitřních faktorů, samozřejmě existuje i fyziologická změna nitroočního tlaku v oku. Ta nastává v průběhu akomodace (neboli schopnosti oka měnit optickou mohutnost svého refrakčního systému), kdy vlivem stahu ciliárního svalu a pohybu duhovky, dochází ke zmenšení objemu přední komory. Fyziologicky zvýšený nitrooční tlak se objevuje u lidí s refrakční vadou myopií (u krátkozrakosti). Dalšími dlouhodobě fyziologickými faktory jsou věk, pohlaví, genetika, rasa, pravidelná fyzická aktivita, farmaka, ale i onemocnění oka. Každá změna nitroočního tlaku může nastat z krátkodobého či dlouhodobého hlediska, podle doby působení rizikového faktoru. Mezi krátkodobé faktory lze zařadit vliv očního pulsu, zadržování dechu, mrkání a přivírání víček či jakoukoli deformaci očního okolí, promnutí očí, změnu velikosti zornice, mydriázu (fyziologické rozšíření zornice ve tmě), pozici hlavy, dále i nošení kontaktních čoček, sport, příjem kofeinu, energetických nápojů a tabáku či anestezii (ketaminem). Výše zmíněná rizika většinou způsobují zvýšený nitrooční tlak v oku. Oproti tomu alkohol či marihuana konzumovaná v malém množství snižuje nitrooční tlak v oku. Nitrooční tlak je rovněž závislý na denní době, hodnoty jsou obvykle vyšší v ranních hodinách než odpoledne a večer. Nitrooční tlak může být ovlivněn některými očními i celkovými chorobami, například keratokonem (kuželovité vyklenutí rohovky), Fuschovou dystrofií (úbytek endoteliálních buněk rohovky), syndromem suchého oka či poruchou slzného filmu, diabetem, arteriosklerózou, artritidou, vysokým krevním tlakem.



Obr. 1: Schéma odtokových cest nitrooční tekutiny z přední oční komory [4]

6 Trabekulum je mříž z uspořádaných vrstev pojivové tkáně s oválnými otvory v komorovém úhlu.

Medikamentózní léčba glaukomu se dělí na tři základní skupiny: látky pro snížení tvorby nitrooční tekutiny, které působí na struktury v oku, které produkují nitrooční tekutinu (betablokátory, sympatikomimetika), látky zvyšující odtok nitrooční tekutiny, které rozšiřují odtokové cesty, a tím snižují množství nitrooční tekutiny v oku (parasymphatikomimetika, prostaglandiny, hyperosmotika) a na látky kombinující tyto účinky. Vedlejší vliv farmak může nastat při léčbě kortikosteroidy, a to zvýšením nitroočního tlaku v oku. [3 - 10]

Parametry ovlivňující měření nitroočního tlaku

Existuje mnoho faktorů, které se podílejí na hodnotě či stabilitě nitroočního tlaku v oku. Při vyšetření nitroočního tlaku je potřeba brát ohled i na fyzikální vlastnosti jednotlivých struktur oka, které přicházejí do kontaktu s měřicím zařízením a mají tak vliv na výslednou hodnotu nitroočního tlaku v oku. Hodnota nitroočního tlaku naměřená daným typem očního tonometru, při použití dané metody (kontaktní či bezkontaktní) měření, se nemusí shodovat se skutečnou hodnotou tlaku uvnitř oka.

Největší pozornost vědeckých pracovníků byla věnována vlivu **centrální tloušťky rohovky** na nitrooční tlak. Hans Goldmann pro kalibraci svého aplanačního (Goldmannova) tonometru zvolil hodnotu centrální tloušťky rohovky 500 μm , i když tento vliv již předpokládal, ale netušil, že tloušťka rohovky bude v populaci tak kolísat. Tloušťka rohovky je asi 1 mm, není všude stejná, v centrální části je rohovka nejtenčí, má něco kolem 560 μm , na periférii má (650 - 1000) μm . Tloušťka rohovky se prokazatelně nemění v dospělosti, největší síla rohovky se udává těsně po narození a poté se postupně ztenčuje, nemá na ni vliv etnický původ ani pohlaví. Naměřená hodnota nitroočního tlaku byla přepočítána podle korekčních vzorců pro konkrétní tloušťku rohovky, zohledňoval se i věk pacienta či poloměr zakřivení rohovky. Rozvoj přístrojů na měření tloušťky rohovky (pachymetrů) ovlivnil diagnostiku glaukomových onemocnění, jelikož tlustší rohovky vykazují falešně vyšší hodnoty nitroočního tlaku a naopak. Dále i nepravidelnosti na rohovce a především refrakční operace způsobují falešně nízké hodnoty měřeného tlaku. Dalšími faktory ovlivňujícími hodnotu nitroočního tlaku jsou například tuhost oka, hydratace rohovky či povrchové napětí slzného filmu.

Při aplanaci (oploštění) rohovky dochází ke změně objemu v přední komoře, a tím ke zvýšení nitroočního tlaku v oku, tomuto parametru se říká tzv. **tuhost (rigidita) oka**. Je měřen nitrooční tlak před a po změně objemu v oku. Tyto objemové změny jsou závislé na skutečném nitroočním tlaku neaplanovaného oka, na arteriálním tlaku, na tloušťce rohovky, na pozici hlavy a věku jednotlivce.

V dnešní době vznikají bezkontaktní oční tonometry, které neměří pouze nitrooční tlak, ale i další veličiny důležité pro hodnocení biomechanických vlastností rohovky. Měří **rohovkovou hysterezi**, která je významnou indikací viskoelastických biomechanických vlastností rohovky oproti tloušťce rohovky a topografii rohovky

(mapování povrchu rohovky), které jsou geometrickými atributy rohovky. Hystereze rohovky je rozdíl v hodnotách vnitřního a vnějšího tlaku (rozdíl tlaku vzduchu, při kterém se rohovka začne oplošťovat, a tlaku vzduchu, při kterém se rohovka vrací do svého původního tvaru). [11, 12]

Závěr

Existuje velká řada faktorů, které mohou vést k četným chybám při měření nitroočního tlaku. Mezi významné činitele patří celkový zdravotní stav jednotlivce, věk, genetika, užívání léků, fyzická aktivita a další. Měření nitroočního tlaku je, stejně jako mnoho jiných fyziologických měření, ovlivněno biomechanickými faktory jako je centrální tloušťka rohovky, zakřivení rohovky, rigidita oka či hystereze rohovky, které mohou vést k chybám při měření nitroočního tlaku v oku.

Literatura

- [1] World Health Organization (WHO). *Global data on visual impairments*, 2010. © 2018 [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf?ua=1>.
- [2] World Glaucoma Association (WGA). *What is Glaucoma?*, 2018 [online]. © 2018 World Glaucoma Association [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://wga.one/wga/what-is-glaucoma/>.
- [3] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [4] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [5] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0786-1.
- [6] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství*. 2., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [7] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometristy a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.
- [8] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [9] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [10] ŘEHÁK, Svatopluk. *Oční lékařství: učebnice pro lékařské fakulty*. 2. přeprac. vyd. Praha: Avicenum, 1989.
- [11] Kirstein EM, Elsheikh A, Gunvant P. *Tonometry – Past, Present and Future*: In Tech; 2011. Dostupné z: https://cdn.intechopen.com/pdfs/22969/InTech-Tonometry_past_present_and_future.pdf
- [12] Pallikaris I, Dastiridou AI, Tsilimbaris M, et al. *Ocular Rigidity*. Expert Rev Ophthalmol 2010; 5(3):343-51. Dostupné z: http://www.ivo.gr/files/items/2/257/expert_reviews_ocular_rigidity.pdf

VPLYV VÝVOJA ICT TECHNOLOGIÍ NA METROLÓGIU

Ing. Martin Koval, Ph.D.*Český metrologický institut***Úvod**

Dostali sme sa do doby, kde softvér (SW) respektíve programové vybavenie je dôležitou súčasťou života. Vzniklo už nespočetne veľa publikácií o tom, ako SW ovplyvňuje dobu, spoločnosť, priemysel, vývoj a pod., a taktiež takýchto publikácií bude len pribúdať, pretože SW je záležitosť vysoko dynamická. Pri SW môžeme povedať, že to čo sa vynášlo včera bude o týždeň už staré. S vývojom informačno-komunikačných technológií (ICT) vznikli nové pojmy ako Cloud computing (CC), Internet of things (IoT), Digital Twin, Big Data, AI – umelá inteligencia a mnoho iných stále vzniká. Podobne tomu začína byť aj pri SW v oblasti metrologie.

Koncept Industry 4.0

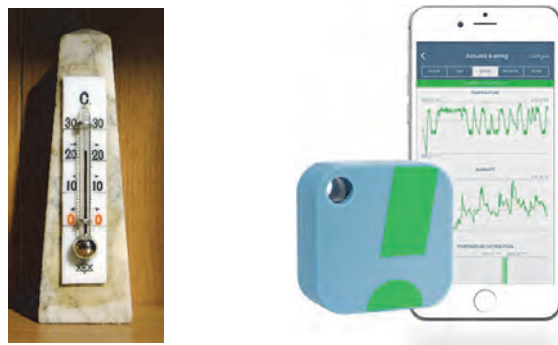
Koncept Industry 4.0 (Průmysl 4.0) začal byť v poslednom období často spomínaný ako ďalší vývoj priemyslu a existuje mnoho publikácií a názorov čo konkrétne Industry 4.0 je a kedy začal. Väčšina publikácií sa zhoduje v nasledovnom: Prvá priemyselná revolúcia začala koncom 18. storočia kedy bol vynájdený prvý prístroj na parný pohon (tkací mechanizmus). Tento vývoj spôsobil prechod ručnej výroby k strojovej. Postupne sa parný princíp začal využívať vo všetkých odvetviach. Druhá priemyselná revolúcia začala koncom 19. storočia, kedy bola prvýkrát založená prvá montážna linka, začalo sa s deľbou práce a neskôr aj elektrifikáciou. Pásovú linku a deľbu práce pri kompletizácii produktu sa využívajú dodnes v rôznych odvetviach. Tretia priemyselná revolúcia začala v r. 1969, kedy bolo prvýkrát vyrobené PLC – programovateľný logický automat, ktorého hlavnou charakteristikou je, že program sa vykonáva v cykloch. V tretej priemyselnej revolúcii došlo posunu od mechanizmov k automatom. Štvrtá priemyselná revolúcia (Industry 4.0) sa začala formovať priebežne od r. 1994 v dobe kedy sa internet stal komerčnou záležitosťou. Internet sa rozšíril behom niekoľkých rokov tak masívne, že vzniklo prostredie, do ktorého sa môžu pripájať nielen ľudia ale aj stroje. Vývoj komunikačných technológií umožnil vznik inteligentných systémov (smart systémy), ktoré sú nazývané aj kyberneticko-fyzické autonómne systémy. Výroba sa posunula do fázy, kde je kontrolovaná a riadená na aj na diaľku.[1, 2]

V koncepte Industry 4.0 ide o využívanie nových informačno-komunikačných technológií (ICT), za účelom zvýšenia efektivity a kvality výroby. Každá priemyselná revolúcia umožnila uľahčiť fyzickú alebo psychickú námahu ľuďom. Pri prvej revolúcii šlo o vyvinutie vysokej sily a pohybu, v druhej revolúcii, sa zlepšila výroba tým, že sa ľudia už s technológiou sústredili na špecifickú časť, v tretej došlo k využívaniu automatizácie, kde ľudský element kontroluje prácu strojov. V štvrtej fáze sa dostávame do obdobia, kde už stroj vie kont-

rolovať stroj a fyzická námaha človeka je minimálna. V niektorých prípadoch vieme celú výrobu riadiť z pohodlia domova a už nemusíme byť fyzicky prítomní pri výrobe.

Využitie konceptu Industry 4.0 v metrologii

Metrologia je neoddeliteľná súčasť priemyslu a využitie konceptu Industry 4.0 v metrologii je možné rozdeliť do viacerých smerov. Aby existovala spätná väzba z výroby, vždy tam musia byť prítomné meracie zariadenia, ktoré poskytujú nevyhnutné informácie pre výrobu, ako sú rozmery, teplota, vlhkosť, tlak, zobrazovacie metódy, čas, energia a podobne. Pri výrobe bude vždy potrebné využívať snímače, kde je nutné zabezpečovať ich presnosť, chybu a neistotu merania za účelom získania čo najlepšej informácie, ktorá podporí efektivitu výroby. Od prvej priemyselnej revolúcie až po štvrtú sa jednotlivé meracie zariadenia vyvinuli, ako je možné vidieť na príklade snímača teploty na obr. 1 a tento vývoj bude pokračovať naďalej.



Obr. 1: Ilustračný obrázok pre vývoj snímača teploty.[3, 4]

Počas prvej a druhej priemyselnej revolúcie, sa používali meracie zariadenia, kde nameraná hodnota bola viditeľná len vizuálne – očným kontaktom, odčítavanie sa vykonávalo manuálne. Doteraz sa využívajú meracie zariadenia, ktorých hodnoty je možné odčítať len manuálne, ale počas ďalších vývojov priemyslu sa technológie posunuli do digitálnej sféry a súčasťou meracieho zariadenia nebol už len merací princíp a zobrazovanie, ale aj softvér, čím meracie zariadenia získali širšiu variabilitu funkcionalít. Nie len, že meracie zariadenia môže merať viacero fyzikálnych veličín súčasne, ale je možné dáta ukladať, meniť konštanty, pridať digitálny displej a nespočetné množstvo ďalších funkcionalít. Počas vývoja štvrtej priemyselnej revolúcie, pribudli komunikačné rozhrania a samotná konštrukcia snímača už nepotrebuje zobrazovanie, keďže je možné poslať nameranú hodnotu už na bežne dostupné elektronické zariadenia (napr.: PC, laptop, mobil). Metrologický prístup k meracím zariadeniam musí držať krok spolu s vývojom v priemysle.

Legálna metrologia a vplyv ICT

V legálnej metrologii sa k známym kalibráciám a overovaniam pridáva aj kontrola metrologického SW (legálne

relevantného SW). Aktuálne sú pre kontrolu metrologického SW v legálnej metrológii používané dokumenty *WEL-MEC Guide 7.2* (aktuálna verzia 2019) [5] a *OIML D 31* (posledná aktualizácia dokumentu prebehla v roku 2019) [6]. Tieto dokumenty sa neustále vyvíjajú v závislosti od rozvoja a využívania ICT technológií. Aj napriek tomu nie je možné pokryť včas všetky oblasti, ktoré postupne vznikajú. Jedným z diskutovaných problémov na úrovni EÚ je smart metering, ktorý sa dotýka všetkých meradiel spotreby pokrytých MID 2014/32/EU. Dokumenty vydané EÚ, ktoré sa týkajú smart meteringu sa neustále vyvíja od r. 2003 a stále nie je pevne ukotvená jeho definícia. Za technickú realizáciu smart meteringu je zodpovedná každá členská krajina EÚ samostatne a dochádza tak k technickým rozdielom, kde požiadavky na metrologické parametre sú rovnaké, ale požiadavky na použitie ICT technológií v metrologickom SW sa líšia v závislosti od toho, ako sú zakotvené v národnej legislatíve. Niektoré členské štáty EÚ zatiaľ so smart meteringom ani neuvažujú. V Českej republike sa smart meteringom zaoberá Národný akčný plán pro chytré sítě (NAP SG) viac informácií v [7].

Komunikačný protokol DLMS/COSEM

DLMS/COSEM (IEC 62056, EN13757-1) je celosvetový komunikačný štandard pre smart metering. Obsahuje tri základné (kľúčové) komponenty: COSEM (Companion Specification for Energy Metering) je objektový model, ktorým je možné definovať akúkoľvek aplikáciu. DLMS (Device Language Message Specification) je aplikačná vrstva, ktorá mení informácie obsiahnuté v objektoch na správy. OBIS (Object Identification System) je systém pre pomenovanie objektov pre bežné použitie dát, ktoré súvisia s meraním.[8]

DLMS/COSEM je jeden z najpoužívanejších komunikačných protokolov používaných pre komunikáciu s meracími zariadeniami. Tento komunikačný protokol sa vyznačuje tým, že podstatou je použitie objektových modelov. Objektový model (COSEM) môže predstavovať akúkoľvek operáciu, ktorú môžeme na diaľku vykonať s meracím zariadením. Zadeňované sú tri hlavné služby GET, ktorá slúži na získavanie atribútov modelových objektov, SET pre nastavenie (modifikáciu) atribútov a ACTION, ktorá vyvolá prevedenie funkcionality modelového objektu. Požiadavky na správnu funkcionality legálne relevantného SW (programové vybavenie) v meracích zariadeniach vychádzajú z MID 2014/32/EU.

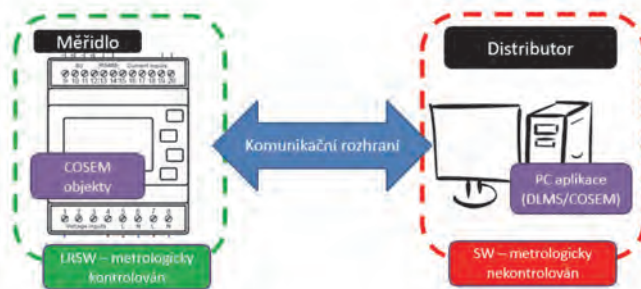
7.6 Měřidlo musí být navrženo tak, aby po uvedení na trh a do provozu umožňovalo kontrolu měření. Pokud je třeba, musí být součástí měřidla i zvláštní zařízení nebo programové vybavení pro tuto kontrolu. Postup zkoušky musí být popsán v návodu k obsluze. Jestliže k měřidlu patří programové vybavení, které vedle funkce měření plní ještě další funkce, musí být programové vybavení, které je pro metrologické vlastnosti zásadní, identifikovatelné a nesmí být přídatným programovým vybavením nepřipustně ovlivňováno.

8.3. Programové vybavení, které je pro metrologické vlastnosti zásadní, musí být jako takové identifikovatelné

a musí být zabezpečeno. Identifikaci programového vybavení musí jednoduchým způsobem umožňovat měřidlo. Důkaz o každém zásahu musí být k dispozici po přiměřenou dobu.

8.4. Naměřené hodnoty, programové vybavení, které je zásadní pro měřicí vlastnosti, a metrologicky významné parametry, uložené nebo přenášené, musí být odpovídajícím způsobem chráněny před náhodným nebo úmyslným zkeslením.[9]

Články 7.6, 8.3 a 8.4 obsahujú priamo v sebe zakomponovanú definíciu programového vybavení. Je však nutné si uvedomiť, že pokiaľ meracie zariadenie je vybavené legálne relevantným SW (LRSW) je vysoko pravdepodobné, že SW bude zasahovať takmer do všetkých metrologicky významných funkcií. SW je zodpovedný za zobrazenie nameranej hodnoty na displeji, prevod z meracieho člena na digitálnu hodnotu, ovládanie užívateľského a komunikačného rozhrania, ukladanie dát, komunikáciu a pod. SW v meracom zariadení umožňuje ľahšiu manipuláciu s nameranými hodnotami a umožňuje vybaviť meracie zariadenie aj inými dodatočnými funkciami. Preto je nutné venovať pri kontrole metrologického zariadenia špeciálnu pozornosť pre SW. Všeobecne je známe, že SW je dynamická záležitosť a jeho komplexnosť rastie exponenciálne. Hlavným problémom pri používaní konceptu DLMS/COSEM je správne použitie objektov. Ako je spomenuté vyššie pre definíciu COSEM, objektom pri metrologickom SW môže byť takmer všetko. Pomocou komunikačných rozhraní je možné tieto objekty čítať, ovládať prípadne spustiť požadovanú operáciu. Tieto COSEM objekty sú obsahom legálne relevantného SW, ktorý je umiestnený v meradle. Na ich ovládanie je možné mať PC aplikáciu, ktorá je často dodávaná spolu meracím zariadením avšak táto PC aplikácia nebýva súčasťou validácie SW a tak nie je kontrolovaná z metrologického hľadiska.



Obr. 2: Grafické zobrazenie ovládanie COSEM objektov cez PC aplikáciu určenú pre DLMS/COSEM komunikáciu.

Pri validácii LRSW sa pri kontrole vyžaduje zoznam komunikačných rozhraní (napr. LAN, USB, WIFI, RS-485 a pod.) a kompletný zoznam príkazov, ktoré majú vplyv na LRSW, namerané dáta a špecifické parametre zariadenia. Často sa výrobca opiera o certifikát vydaný DLMS/COSEM asociáciou s tvrdením, že ich realizácia komunikácie je v poriadku. DLMS/COSEM asociácia

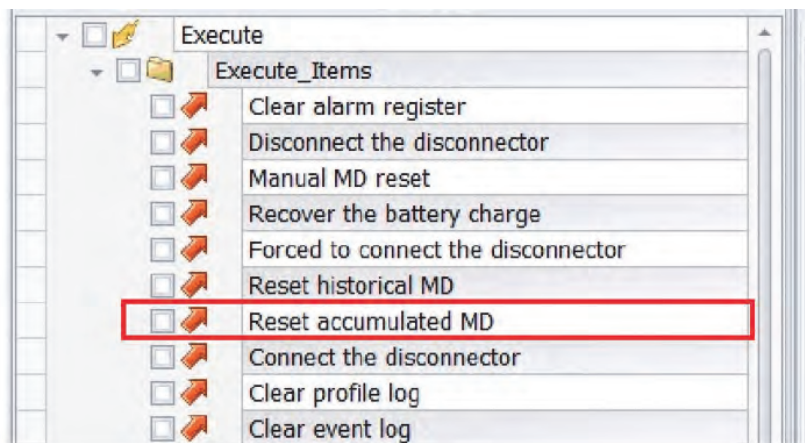
nemá v certifikáte uvedené, že dané zariadenie spĺňa požiadavky podľa MID 2014/32/EU. Problém pri validácii LRSW nastáva, pri kontrole príkazov, kde výrobca nezvykne uvádzať možnosti nastavenia atribútov COSEM objektov, pretože to nepovažuje za príkaz z pohľadu IT riešení. Kontrola správnosti príkazov, sa bežne vykonáva preštudovaním dokumentácie, kde výrobca má uviesť kompletný zoznam príkazov, ktoré majú vplyv na LRSW, namerané dáta alebo špecifické parametre a následným vykonaním funkčných testov. Nie je povinnosťou výrobcu nechať kontrolovať aj PC aplikáciu, ktorá nespadá pod proces certifikácie, avšak aby sme mohli otestovať funkčnosť príkazu je nutné, aby výrobca zabezpečil vhodné prostriedky na preskúšanie, čím by mala byť práve PC

aplikácia DLMS/COSEM. Grafická realizácia PC aplikácie pre DLMS/COSEM nemá stanovenú štruktúru a tak je možné sa stretnúť s jednoduchým ovládaním, aj pre neskúseného užívateľa, ale taktiež je možné vytvoriť PC aplikáciu, na ktorú je nutné absolvovať školenie.

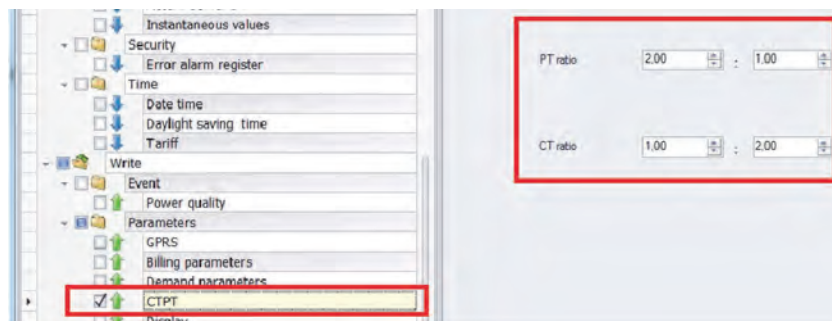
Na obrázkoch (**obr. 3** až **obr. 5**) sú zobrazené sporné prípady, s ktorými sme sa stretli pri validácii SW, ktorých používanie je v rozpore s MID 2014/32/EU.

K PC aplikáciám boli pridelené užívateľské meno a heslo, ktoré bolo súčasťou balíka pre PC aplikáciu a tak teoreticky každý majiteľ meradla má prístup k týmto operáciám. Každý z vyššie uvedených operácií sme vykonali a v meracom zariadení nebola žiadna evidencia o vykonaných zmenách. V prvom prípade (**obr. 3**), bolo možné neustále mazať kumu-

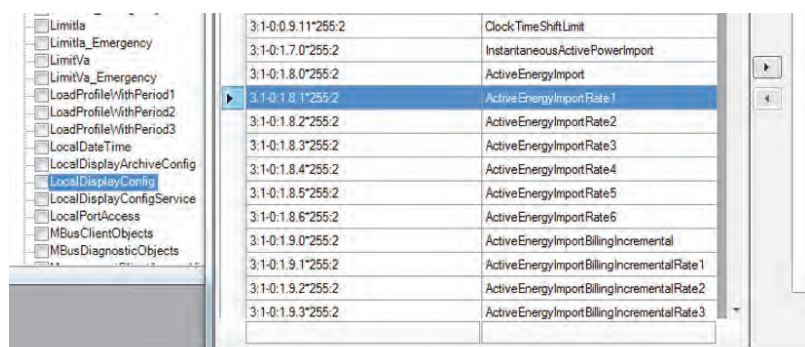
latívnu hodnotu. V praxi by to mohlo znamenať, že v domácnosti by bolo možné mňať energiu a neustále ju mazať z meradla bez porušenia plomby. Druhý prípad (**obr. 4**) umožňoval meniť transformačný pomer na elektromere, ktorý má priamo vplyv na výpočet elektrickej energie. Zmena bola možná na úrovni stotiny. Bolo možné vykonať nepatrné zmeny a následne vrátiť na pôvodnú hodnotu. Ak by takýto príkaz bolo možné vykonávať neustále, mohlo by dochádzať k zmenám nameranej hodnoty bez toho, aby o tom vedel užívateľ meradla alebo dokonca distribútor elektrickej energie. V prípade na **obr. 5** bolo možné manipulovať s hodnotami na displeji. Okrem toho, že sa nám podarilo úplne vypnúť hodnoty na displeji, bolo možné zobraziť len číselné hodnoty, ktoré neodpovedali skutočnej nameranej hodnote. V praxi to môže viesť k dezinformáciám pre spotrebiteľa nakoľko bežný spotrebiteľ nemá prístup k inému odčítaniu a aj keby mal, nemuselo by sa jednať o legálne relevantný údaj. Týmto spôsobom je možné úplne znemožniť odčítanie nameranej hodnoty pre koncového užívateľa alebo dokonca mu prezentovať nesprávne namerané údaje. Využívanie DLMS/COSEM protokolu má nespočetne veľa benefitov, avšak je nutné počas výroby meracieho zariadenia byť dôsledný a brať do úvahy na aký účel bude meracie zariadenie využívané. Taktiež je vhodné brať do úvahy v akej krajine sa meracie zariadenie bude používať a našťudovať si platné legislatívne podmienky. Pri validácii LRSW, ktorý obsahuje komunikačný protokol DLMS/COSEM je vhodné upozorniť výrobcu, že certifikát od DLMS/COSEM asociácie neznamená, že je automaticky v súlade s MID 2014/32/EU. Ak výrobca dodá zoznam príkazov je vhodné ho upozorniť, že je nutné dodať všetky príkazy aj vrátane nastavenia atribútov, pretože ak ho nedodá vystavuje sa riziku, že v praxi môže dôjsť k problémom a následky ponesie výrobca pretože nedodal kompletnú dokumentáciu vyžadovanú k validácii LRSW.



Obr. 3: DLMS/COSEM atribút ACTION: resetovanie kumulovanej nameranej hodnoty.



Obr. 4: DLMS/COSEM atribút SET: nastavenie kalibračnej konštanty.

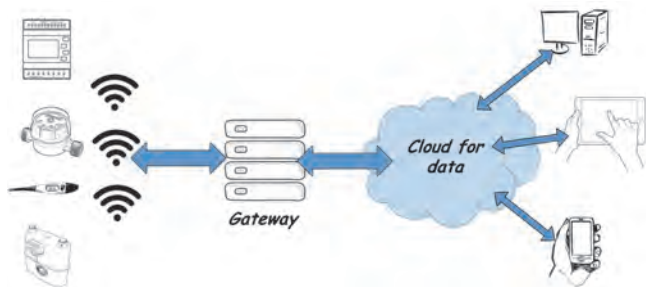


Obr. 5: DLMS/COSEM atribút SET: nastavenie zobrazovanie nameraných hodnôt na displeji.

Priemyselná metrológia a vplyv ICT

V oblasti priemyselnej metrológie je používanie nových ICT technológií výraznejšie pretože vývoj dokumentov obsahujúci regulatívy pre ICT technológie je o niečo rýchlejší. Napríklad *BS EN 12830:2018 Temperature recorders for the transport, storage and distribution of temperature sensitive goods. Tests, performance, suitability* – ČSN EN 12830 *Přístroje pro záznam teploty při přepravě, skladování a distribuci teplotně citlivého zboží*. V tejto norme požiadavky na SW vychádzajú z dokumentu WELMEC Guide 7.2, Issue 5, ale obsahuje aj prvky obsahujúce Industry 4.0, ktoré sa zaoberajú tým ako majú byť splnené požiadavky v prípade využitia technológie CC.

Spomínaná norma sa v prípade využitia CC odvoláva na splnenie ISO IEC 27001 Information Security Management. V záujme kvality výsledného produktu, je nutné sa zamyslieť či je to dostatočné.



Obr. 6: Komunikácia s meracími zariadeniami pomocou CC.

V súčasnej dobe existuje veľa firiem, ktoré ponúkajú realizácie meraní na diaľku pomocou priemyselných snímačov používajúcich smart snímače. Realizácia je rôzna, ale základný princíp je rovnaký (obr. 6): použitie smart snímačov s ICT technológiu, kde zber dát je riešený často pomocou Gateway zariadenie, ktoré zozbiera dáta, skontroluje integritu, priradí dátam doplňujúce informácie, zašifruje a pošle do externého dátového úložiska, ako je napríklad CC. K dátam je prístup riadený na základe prístupových oprávnení zabezpečených heslom alebo inou technológiou, ktoré sú rôzne podľa nastavení či už pre ľudí alebo stroje. Prístup k dátam je tak niekedy možný len cez webové rozhranie. Obvykle je realizovaná aj spätná väzba, kde z koncového zariadenia ako je PC, prípadne tablet je možné upravovať doplnkové informácie a definovať rôzne limity pre selekciu dát.

Výskumná (fundamentálna) metrológia a vplyv ICT

Jedným zo smerov priemyselnej a výskumnej metrológie pre oblasť Industry 4.0 je spracovanie nameraných dát. Ako už je spomenuté vyššie, pri koncepte Industry 4.0 je podstatné využitie ICT technológií a spätná väzba z meracích zariadení. Dáta z výrobného procesu (vrátane nameraných dát) sa ukladajú do úložiska, odkiaľ na vyžiadanie vstupujú k iným strojom alebo priamo k užívateľovi. Koncept týchto dát je známy ako Big Data, kto-

rý je zameraný na spracovanie objemových dát. Úlohou metrológie je zabezpečenie správnosti týchto dát. Jedná sa o zachovanie metrologických parametrov pri meraní, integrita nameraných dát pri prenose a skladovaní, správne zobrazovanie a pod. Z pohľadu spracovania dát je aktuálnym problémom kompatibilita dát z rôznych zdrojov. Koncept Industry 4.0 popisuje spôsob, ale nepredpisuje žiadne konkrétne technologické zásady, čo spôsobuje, že každá realizácia prináša iné technologické riešenie a pri spájaní rôznych realizácií dochádza ku komplikáciám. Keďže metrológia v sebe nesie aj správne zobrazovanie dát. Toto je jeden z mnohých smerov, na ktorý by sa mala metrológia zamerať.

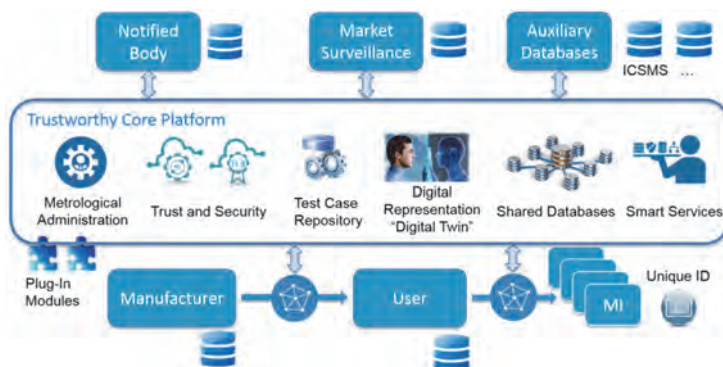
Digitalizácia v metrológií

Digitalizácia je v dnešnej dobe populárny pojem a vyžaduje sa previesť digitalizáciu v každom priemysle, nevyhnutne sa metrológií. Pri pojme digitalizácia je nutné rozlíšiť pojmy digitalizácia (*digitalization*) a digitizácia (*digitization*). Podľa slovníka [10, 11]. Stručné vysvetlenie:

Digitizácia – je proces zmeny z analógovej formy na formu digitov.

Digitalizácia – je využívanie digitálnych technológií na zmenu obchodného modelu, ktoré ponúka nové príležitosti.

Pri digitalizácii sa uvažuje o efektívnom využití nových technológií, ktoré prišli z Industry 4.0 a najsť vhodnú stratégiu ako implementovať nové a novovznikajúce technológie. Treba si uvedomiť, že každý projekt, ktorého výstupom je SW riešenie alebo implementácia novej technológie podporuje digitalizáciu. V EÚ je vysoká podpora projektov, ktoré sú zamerané na podporu digitalizácie v metrológií. Za zmienku stoja určité projekty ako je vývoj digitálneho kalibračného certifikátu DCC (DCC – digital calibration certificate), ktorý je aktuálne riešený pod projektom SmartCom [12], ktorého víziou je vytvoriť základy pre univerzálnu, bezpečnú a jednotnú komunikáciu pre metrologické dáta pre IoT a Industry 4.0. Ďalším zaujímavým projektom je Európsky Metrologický Cloud [13], ktorého víziou je prepojiť viacero subjektov ako je oznámený subjekt, dohľad nad trhom, výrobcov, užívateľov a meracích zariadení. Vytvorením takejto infraštruktúry skrz celú EÚ by mohlo rapidne urýchliť niektoré zdĺhavé procesy.



Obr. 7: Koncept Európskeho Metrologického Cloudu [13].

Záver

SW a ICT technológie sa stali neoddeliteľnou súčasťou metrológie, či už sa jedná o legálnu, priemyselnú alebo fundamentálnu a platí všeobecný názor, že žiadny SW nie je bez chýb. Vývoj ICT technológie sa bude neustále vyvíjať a budú pribúdať nové technologické inovácie, ktoré bude nutné implementovať aj do oblasti metrológie. Jednou z najrizikovejších implementácií, ktorá spustila Industry 4.0 je internet. Prináša množstvo benefitov, ktoré nám umožňujú manipuláciu s meracími zariadeniami na diaľku, ale na druhej strane je všeobecne známe, že internet je nevyspytateľný a všetko čo je k internetu pripojené je výzvou pre istý druh programátorov.

Literatúra:

- [1] Průmyslová revoluce – Od Průmyslu 1.0 k Průmyslu 4.0, <https://www.desouttertools.cz/prumysl-4-0/no-vinky/563/prumyslova-revoluce-od-prumyslu-1-0-k-prumyslu-4-0>
- [2] Průmysl 4.0: Novodobá revoluce, https://www.technikydenik.cz/rubriky/archiv/prumysl-4-0-novodoba-revoluce_39359.html
- [3] Ilustračný obrázok teplomer, <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermometer>
- [4] Ilustračný obrázok snímač teploty, <https://www.amazon.com/SensorPush-Wireless-Thermometer-Hygrometer-Android/dp/B01AEQ9X9I>
- [5] WELMEC 7.2 2019, <https://www.welmec.org/documents/guides/72/>
- [6] OIML D31, https://www.oiml.org/en/files/pdf_d/d031-e19.pdf
- [7] Informace o NAP SG, <https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/>
- [8] DLMS/COSEM, <https://www.dlms.com/>
- [9] MID 2014/32/EU, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0032>
- [10] Digitalization, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitalization>
- [11] Digitization, <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitization>
- [12] SmartCom, <https://www.ptb.de/empir2018/de/smartcom/home/>
- [13] The European Metrology Cloud, <https://www.ptb.de/cms/en/research-development/challenges-and-future-prospects/metrology-for-the-digitalization/metrology-cloud.html>



STANOVENÍ KONFIDENČNÍHO INTERVALU PRO PODÍL STŘEDNÍCH HODNOT

Ing. Václav Hora

*AMS K 97 – Laboratoř metrologie ionizujícího záření
VZ 551240 Lázně Bohdaneč, pracoviště Olomouc*

1. Úvod

Tento článek se bude zabývat stanovením konfidenčního intervalu podílu dvou středních hodnot. Určení tohoto intervalu neprovedeme klasickým způsobem, tj. metodou linearizace podílu dvou výběrových průměrů. Uvedená metoda je obecně přesnější nežli linearizace a naprosto přesná při znalosti skutečných disperzí obou výběrových průměrů. Lze ji ale bez problému použít při počtu měření přičemž rozsah obou výběrů může být obecně různý.

2. Vstupní myšlenky pro uvažovaný model

Uvažujme μ_1, μ_2 dvě teoretické střední hodnoty takové, že náhodná veličina X_1 má rozložení

$$X_1 \sim N_1(\mu_1; \sigma_1^2) \text{ a analogicky pro } X_2 \text{ platí } X_2 \sim N_2(\mu_2; \sigma_2^2).$$

$$\text{Položíme } \frac{\mu_1}{\mu_2} = \lambda, \quad (1)$$

kde λ bude argument nějaké závislé proměnné.

$$\text{Potom } P = \left\{ \lambda_1 \leq \frac{\mu_1}{\mu_2} \leq \lambda_2 \right\} = 1 - \alpha. \quad (2)$$

Střední hodnoty průměru neznáme. Odhady středních hodnot jsou výběrové průměry, které označíme $\bar{X}$. Předpokládáme, že data z obou výběrů jsou nezávislá a mají normální rozložení. Ze vztahu (1) vyplývá, že

$$\bar{X}_1 - \lambda \cdot \bar{X}_2 \sim N_1\left(\mu_1 - \lambda \cdot \mu_2; \frac{\sigma_1^2}{n_1} + \lambda^2 \cdot \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right). \quad (3)$$

Potom platí

$$P\left\{\frac{(\bar{X}_1 - \lambda \cdot \bar{X}_2)^2}{\left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \lambda^2 \cdot \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)} \leq \chi_1^2(1 - \alpha)\right\} = 1 - \alpha, \quad (4)$$

kde $\chi_1^2(1 - \alpha)$ je kritická hodnota chí kvadrátu o jednom stupni volnosti. Z výrazu v závorce levé strany předešlého vztahu dostaneme

$$(\bar{X}_1 - \lambda \cdot \bar{X}_2)^2 - \left(\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \lambda^2 \cdot \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right) \cdot \chi_1^2(1 - \alpha) \leq 0.$$

Po umocnění, roznásobení a uspořádání výrazů z předešlé rovnice dostaneme

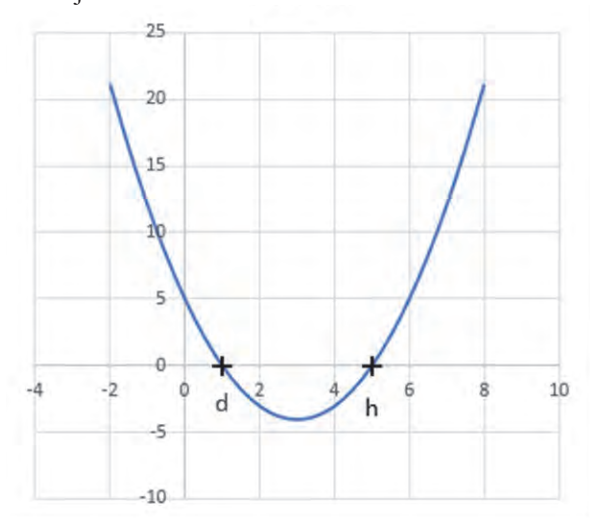
$$f(\lambda) = \lambda^2 \underbrace{\left(\bar{X}_2^2 - \frac{\sigma_2^2}{n_2} \chi_1^2(1 - \alpha)\right)}_a - \lambda \underbrace{(2\bar{X}_1\bar{X}_2)}_b +$$

$$+ \underbrace{\left(\bar{X}_1^2 - \frac{\sigma_1^2}{n_1} \chi_1^2 (1 - \alpha) \right)}_c \leq 0. \quad (5)$$

Již podle označení koeficientů a, b, c vidíme, že jde např. o kvadratickou rovnici typu $y = x^2 - 6x + 5$, kde je koeficient $b < 0$ a jejíž řešení je

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (6)$$

Tvar grafu této konkrétní kvadratické rovnice je na následujícím obrázku



Uvedeme pouze nejdůležitější mezi výpočty a to na pět desetinných míst.. Kritická hodnota chí kvadrátu o jednom stupni má hodnotu 3,84146. Jelikož autor článku nenašel v oblasti veličin ionizujícího záření vhodný model, „vypůčil“ si jej u veličin elektrických.

3. Příklad

Ampérmetrem s třídou přesnosti 0,5 je měřen proud protékající odporovou zátěží. Voltmetrem je měřen úbytek napětí na této zátěži. Vliv měřicích měřidel na zátěž zanedbáme. Stanovte konfidenční interval hodnoty odporu zátěže $R \left(R = \frac{U}{I} \right)$. Oba dva průměry byly stanoveny z 35 odečtů: ($n_1 = n_2 = 35$).

A) Potřebné hodnoty veličiny U (viz. Tabulka)

- Čtverec směrodatné odchylky průměru $\bar{U}$: (viz. a, dále 2. a 4. sloupec)
- $b_{\max} = 40 \text{ ppm MH} + 30 \text{ ppm MHMR} = 0,0082 \text{ V}$; (rovnoměrné rozdělení)
- Rozlišení voltmetru je 0,005 V; (rovnoměrné rozdělení)

B) Potřebné hodnoty veličiny I (viz. Tabulka)

- Čtverec směrodatné odchylky průměru $\bar{I}$
- Třída přesnosti ampérmetru: 0,5 z rozsahu 1,2; (rovnoměrné rozdělení)
- Rozlišení ampérmetru je 0,0005 V; (rovnoměrné rozdělení)

Tabulka

$\bar{U} = 86,30 \text{ V}$		$\bar{I} = 0,86 \text{ A}$	
$s_{\bar{U}}^2 = 9,91613 \cdot 10^{-3} \text{ V}^2$	a)	$s_{\bar{I}}^2 = 1,65268 \cdot 10^{-6} \text{ A}^2$	e)
$\sigma_{\text{rov.}}^2 = 2,24133 \cdot 10^{-5} \text{ V}^2$	b)	$\sigma_{\text{rov.}}^2 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ A}^2$	f)
$\sigma_{\text{rov.}}^2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ V}^2$	c)	$\sigma_{\text{rov.}}^2 = 8 \cdot 10^{-8} \text{ A}^2$	g)
Suma (a+b+c): $\sigma_U^2 = 9,946881 \cdot 10^{-3} \text{ V}^2$	-	Suma (e+f+g): $\sigma_I^2 = 1,3736 \cdot 10^{-5} \text{ A}^2$	-
-		$\bar{R} = 100,41 \Omega$	

Hodnoty koeficientů jsou v souladu s rovnicí (6) následující
 $a = 0,73862$; $b = -146,3423$; $b^2 = 22005,44388$;
 $c = 7447,65875$. (7)

Řešením kvadratické rovnice (5) (přeznačili jsme d za x_1 a h za x_2) dostaneme hledaný konfidenční interval, ve kterém leží s pravděpodobností $P = 0,95$ skutečná hodnota odporu R.

Tedy:

$$d = 99,62349 \approx 99,62 \Omega, \quad h = 101,21267 \approx 101,21 \Omega.$$

Takže

$$99,62 < R < 101,26 \quad \text{Pro } P = 0,95.$$

Poznámky pro doplnění výpočtů:

Stanovíme minimum rovnice $y = ax^2 - bx + c$, která má tvar rovnice (5). Z matematické analýzy víme, že musíme rovnici derivovat a položit nule. Druhá derivace je kladná, tzn., jde skutečně o minimum. Po derivování dostaneme

$$y = 2ax - b = 0, \text{ tj. } x = \frac{b}{2a}, \text{ dosadíme koeficienty ze vzta-} \\ \text{hu (7) a máme } \lambda_{\min} = 99,06 \Omega. \text{ Jak vidíme, toto minimum}$$

není totožné s vypočítaným průměrem $\bar{R} = 100,41 \Omega$. Leží mírně vlevo od průměru. Jestliže však stanovíme střed intervalů, tedy $\bar{\lambda} = \frac{d+h}{2} = 100,42$. Od průměru se tento střed intervalů liší pouze o 0,006 %.

4. Závěr

V článku je uveden výpočet konfidenčního intervalu podílu středních hodnot. Výpočet je proveden netradičním způsobem. Při neznalosti teoretických disperzí obou průměrů je nutné, aby vypočítané empirické průměry byly realizovány z náhodných výběrů, které mají normální rozložení a počet empirických dat byl $n_1(n_2) > 30$. Tento požadavek byl potvrzen simulací (viz. 3.). Výpočet je zajímavý a jistě svým obsahem obohatí čtenáře, kteří se touto problematikou zabývají.

5. Literatura

- [1] Hatle, J. – Likeš, J.: *Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky*. Praha, SNTL, 1973
- [2] Havránek, T. a kol.: *Matematika pro biologické a lékařské vědy*. ACADEMIA, Praha. 1981
- [3] Kubáček, L.: *OSOBNÍ SDĚLENÍ*
- [4] Rabinovič, S. G.: *Pogrešnosti izmerenij*. ENERGIJA, 1978

MĚŘENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH VELIČIN NA ZÁKLADĚ KVANTOVÝCH PRINCIPŮ – ČÁST 1.

Ing. Martin Hudlička, Ph.D.

Český metrologický institut

1. Úvod

Mezinárodní výbor pro míry a váhy (CIPM) navrhl v roce 2011 změnu definic základních jednotek soustavy SI (původní soustava jednotek SI a její realizace v ČR je popsána např. v [1]). Cílem byla redefinice jednotek tak, aby každá z nich byla pevně spjata s určitou neměnnou vlastností přírody. Pro jednotky sekunda, metr a kandela již dříve existovaly experimenty, pomocí nichž bylo možné jednotky určit s velmi malou nejistotou. Nově bylo nutné vyvinout experimenty, které by dokázaly určit s velmi malou nejistotou i jednotky mol, kilogram, ampér a kelvin. Původní soustava sedmi základních jednotek tak měla přejít na soustavu sedmi „definujících konstant“ s nulovou nejistotou (stručná motivace a cíle redefinice viz např. [2]). Konečné rozhodnutí bylo přijato na 26. zasedání Generální konference pro míry a váhy (CGPM) v listopadu 2018 a změna definice základních jednotek SI vstoupila v platnost dne 20. května 2019. Změna definic základních jednotek SI se dotkla všech oborů fyzikálních měření, včetně vysokofrekvenčních elektrických veličin, kde se používá řada odvozených jednotek, jakými jsou výkon, intenzita elektrického a magnetického pole, anténí faktor apod.

Tento příspěvek, který je rozdělen na dvě části, si klade za cíl ukázat některé slibné způsoby realizace odvozených jednotek v elektromagnetických měřeních, které jsou přímo navázané na hodnoty některých přírodních konstant definujících základní jednotky v nové soustavě jednotek SI. V prvním díle bude představeno měření intenzity elektrického pole a v dalším díle bude ukázáno měření intenzity magnetického pole a v elektrického výkonu. Rešerše literatury se zaměřuje především na realizace existující v národních metrologických institutech.

2. Důsledky redefinice soustavy jednotek SI pro elektromagnetická měření

Novými definicemi jednotek kilogram, ampér, kelvin a mol není ovlivněna souvislost mezi hodnotami materiálových parametrů ε_0 (permitivita vakua) a μ_0 (permeabilita vakua, v zahraniční literatuře někdy magnetická konstanta), charakteristickou impedancí Z_0 a admitancí Y_0 vakua a rychlostí světla c . Definiční hodnota rychlosti světla se navíc nezměnila, protože je svázána s jednotkou délky metr. Vztahy mezi výše uvedenými veličinami jsou následující

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}, \quad (1)$$

$$Z_0 = \mu_0 c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}, \quad (2)$$

$$Y_0 = \frac{1}{\mu_0 c} = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} = \frac{1}{Z_0}. \quad (3)$$

Nová definice soustavy jednotek SI nicméně ovlivnila hodnotu permeability vakua μ_0 (a tím pádem i ostatní veličiny ε_0 , Z_0 a Y_0), jejíž hodnota už není dána s nulovou nejistotou jako $4\pi \times 10^{-7} \text{ (H} \cdot \text{m}^{-1})$, ale musí být určena experimentálně. Hodnotu μ_0 je možné určit s relativní standardní nejistotou u_r , která je stejná jako nejistota určení konstanty jemné struktury α z definičního vztahu

$$\mu_0 = \alpha \frac{2h}{ce^2}. \quad (4)$$

Protože konstanty h , c a e mají fixní číselnou hodnotu, ze vztahů (1) až (4) vyplývá identická velikost relativní nejistoty

$$u_r(Y_0) = u_r(Z_0) = u_r(\varepsilon_0) = u_r(\mu_0) = u_r(\alpha). \quad (5)$$

Doporučené hodnoty konstant h (Planckova konstanta), e (elementární náboj), k (Boltzmannova konstanta), a N_A (Avogadrova konstanta), které vychází z procesu zpřesnění hodnot fundamentálních konstant podle CODATA 2017 [3], se staly základem pro stanovení přesných hodnot konstant v nové definici jednotek kilogram, ampér, kelvin a mol, které byly přijaty na 26. zasedání CGPM v listopadu 2018. Aktuální hodnota permeability vakua je po zafixování hodnot h , e , k , a N_A následující

$$\begin{aligned} \mu_0 &= 4\pi \left[1 + 5,4(1,5) \times 10^{-10} \right] \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \\ &= 12,5663706212(19) \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned} \quad (6)$$

V principu je tedy permeabilita vakua měřitelná a vztah mezi intenzitou magnetického pole $\mathbf{H}$ a magnetickou indukcí $\mathbf{B}$ se tak změnil. Obdobně jako μ_0 je nutné experimentálně určit i hodnotu permitivity vakua ε_0 podle (1), stejně jako před rokem 1983, kdy nebyla pevně fixována rychlost světla c [4]. Součin $\mu_0 \varepsilon_0 = 1/c^2$ zůstal nezměněn. Předpokládá se, že doporučené hodnoty μ_0 , ε_0 , Z_0 a Y_0 se budou dále zpřesňovat v dalších revizích databáze CODATA a tedy je doporučeno využívat vždy aktuální hodnoty, které lze v databázi nalézt.

V oblasti měření magnetických veličin byla redefinicí SI ovlivněna konstanta kvantum magnetického toku (magnetic flux quantum) $\phi_0 = h/2e$, která je převrácenou hodnotou Josephsonovy konstanty. Tato veličina se vyskytuje při měření magnetického toku v supravodivých smyčkách. Další změněnou konstantou je Bohrov magneton

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi m_e}, \quad (7)$$

jehož hodnota je vypočtena z experimentálně určené Rydbergovy konstanty R_∞ a konstanty jemné struktury α jako

$$m_e = \frac{2hR_\infty}{c\alpha^2}. \quad (8)$$

Protože e a h jsou nyní definovány s nulovou nejistotou, nejistota μ_B v nové soustavě SI je o řád menší, než tomu bylo v minulosti [3]. Konstanta jemné struktury α je často používána v částicové fyzice, fyzice vysokých energií, kvantové elektrodynamice a kosmologii. Tato konstanta je měřitelná několika různými způsoby a je možné, že její přijatá hodnota (a tím i hodnota μ_0) bude v budoucnu ještě dále zpřesňována.

Další dopad redefinice SI na elektromagnetismus je spíše filozofický. Velké množství (zejména starší) světové teoretické literatury je psáno v soustavě jednotek CGS (centimetr, gram, sekunda) a i dnes lze nalézt velké množství časopiseckých publikací a monografií z oblasti měření magnetických polí, které tuto soustavu používají. Výklad je v této soustavě mnohem názornější, než v soustavě SI, protože některé veličiny jsou normovány k základním konstantám a zápis vztahů je kratší a srozumitelnější. Zhruba v 50. letech minulého století se začala používat soustava MKSA (metr, kilogram, sekunda, ampér), později SI rozšířená o kandelu, mol a kelvin. Níže je uvedeno několik základních vztahů, které v soustavě CGS přestaly mít platnost po redefinici soustavy jednotek SI. Např. Coulombův zákon udávající sílu působící mezi dvěma náboji e_1 a e_2 ve vzdálenosti r je v soustavě SI definován

$$F = k_0 \frac{e_1 e_2}{r^2}, \quad (9)$$

kde $k_0 = 1/(4\pi\epsilon_0)$. V soustavě CGS je $k_0 \equiv 1$, a tedy $F = e_1 e_2 / r^2$. To vede např. ke stejnému rozměru veličin $\mathbf{D}$ (vektor elektrické indukce), $\mathbf{E}$ (vektor elektrické intenzity) a $\mathbf{P}$ (vektor elektrické polarizace). Se změnou definice ϵ_0 tak přestala platit definice vektoru elektrické indukce $\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P}$ (soustava SI), která je v soustavě CGS rovna $\mathbf{D} = \mathbf{E} + 4\pi\mathbf{P}$. Obdobně vektor magnetické indukce $\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M})$ (soustava SI) je v soustavě CGS roven $\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$ a veličiny $\mathbf{B}$, $\mathbf{H}$, $\mathbf{M}$ mají stejný rozměr ($\mathbf{M}$ je vektor magnetizace). Faradayův zákon elektromagnetické indukce, který je v soustavě CGS elegantně zapsán jako

$$\text{rot } \mathbf{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0, \quad (10)$$

je v soustavě SI definován zavedením skalárního (ϕ) a vektorového ($\mathbf{A}$) potenciálu

$$\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}, \quad \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla \phi. \quad (11)$$

Lze najít i další příklady [5], ale vzhledem ke stále méně častému používání této soustavy v teoretické literatuře nebudou diskutovány.

3. Měření intenzity elektrického pole – současný stav

Měření intenzity elektrického pole na primární úrovni je v současné době realizováno pomocí vypočitatelných realizací jednotky ($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$), vyjádřeno pomocí základních jednotek SI jako ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$). Obvykle jde o ohraničený prostor, ve kterém se budí pomocí vhodného zdroje elektromagnetická vlna. Jedná se např. o dvě rozlehlé rovnoběžné vodivé desky nebo obdélníkový vlnovod, ve kterém se budí transverzálně elektromagnetická vlna (TEM cela). Pro vyšší kmitočty se používá bezodrazová komora, ve které je vypočitatelná intenzita elektrického pole dosažena v určité vzdálenosti od antény se známými parametry při buzení známým výkonem podle vztahu

$$E = \sqrt{\frac{PZ_0 G}{4\pi d^2}}, \quad (12)$$

kde P je výkon na vstupu antény, $Z_0 = 377 \Omega$ je vlnová impedance volného prostoru, G je zisk antény a d je vzdálenost sondy pole od antény. Přenosovým standardem je zde sonda elektrického pole. Jedná se často o kruhový problém, tzn. ke kalibraci sondy elektrického pole je potřeba ji vložit do „známého“ pole a k ověření intenzity elektrického pole v nějakém prostoru potřebujeme kalibrovanou sondu. Nejlepší nejistota realizace intenzity elektrického pole bývá kolem 5 %. Sondy elektrického pole pracují obvykle na principu usměrnění napětí, které je indukováno na elektricky malém dipólu (pod rezonančním kmitočtem). Toto napětí se potom měří voltmetrem s vysokým vstupním odporem. Pro izotropní měření nezávisle na směru intenzity vektoru elektrického pole se používá systém tří ortogonálních dipólů. S rostoucím kmitočtem je problematické dosáhnout velké citlivosti při velmi malých rozměrech dipólu a problémem je také to, že vodivé části sondy ovlivní průběh elektrického pole ve zkoumaném prostoru a dochází k chybě měření. Citlivost sond s dipóly bývá v řádu 100 mV/m. Dalším principem je použití sond s nelineárními materiály (např. krystaly niobátu lithia LiNbO_3), ve kterých se fáze optického signálu procházejícího materiálem mění po vložení do elektrického pole. Citlivost je vyšší (cca 10 mV/m), ovšem i tyto sondy vyžadují kalibraci.

4. Měření intenzity elektrického pole - Rydbergovy atomy

Jedná se o použití sondy elektrického pole založené na optické excitaci par atomů v uzavřené skleněné komoře a vytvoření tzv. Rydbergova plynu. Jedná se o extrémně excitovaný stav hmoty, kdy valenční elektron obíhá v mnohem větší vzdálenosti než obvykle. Velikost atomu se může zvětšit až řádově tisíckrát a dosáhnout průměru stovek nanometrů. Jsou to atomy s velkým hlavním kvantovým číslem n (principal quantum number), které je větší, než odpovídá valenčnímu číslu n příslušného atomu. Tyto obří atomy jsou pak zajímavé tím, že

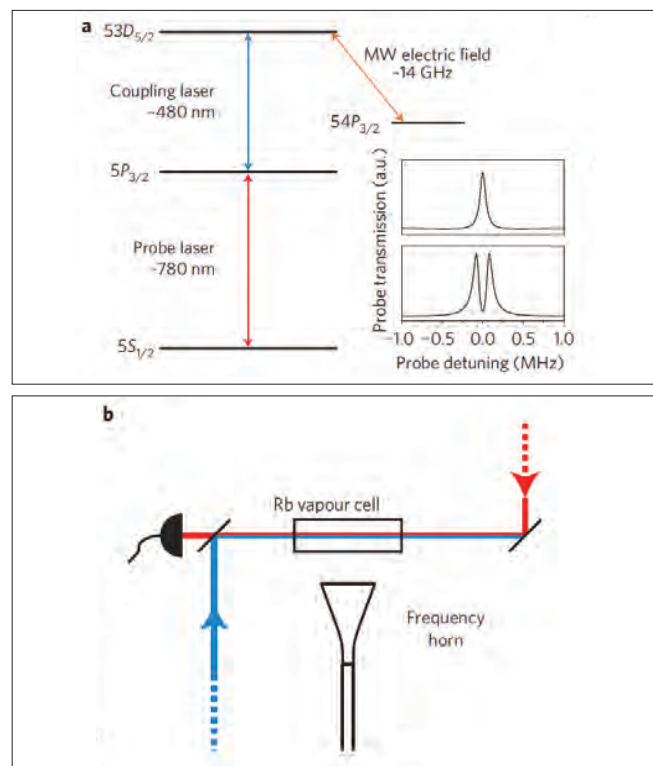
extrémně citlivě reagují na změny elektrického pole [6], [7]. Mírou aplikované intenzity elektrického pole je tzv. Autler-Townesovo štěpení Rydbergových energetických hladin [8]. Štěpení je měřitelné pomocí elektromagneticky indukované průhlednosti (electromagnetically induced transparency, EIT), což je koherentní optická nelinearita, která způsobuje, že látka se stává opticky „průhlednou“ v úzké spektrální oblasti kolem absorpční čáry. Jedná se v podstatě o kvantově interferenční jev, který umožňuje šíření světla skrz jinak opticky neprůhledný materiál. Míra štěpení je svázána s aplikovanou intenzitou elektrického pole E , Planckovou konstantou h a prvky přechodové matice $\wp$ (pravděpodobnostní amplitudy kvantových stavů systému), které nabývají hodnot 10^3 až $10^4 e a_0$, kde e je elementární náboj a a_0 je Bohrov poloměr [9]. Pro dosažení EIT se používá dvou koherentních zdrojů záření (laserů), které interagují se třemi energetickými stavy látky. Každý z laserů (budící a vazební) je naladěn na rezonanci jiného energetického přechodu atomu. Pokud souhlasí kmitočet vazebního laseru s rezonančním kmitočtem přechodu mezi určitými dvěma energetickými stavy atomu (např. pro atomy izotopu ^{87}Rb to odpovídá 780 nm, tedy červenému laseru), atomy odráží světlo přicházejícího svazku a snižují intenzitu světla měřenou na detektoru. Pokud se použije druhý, budící, laser s větší intenzitou, který rezonuje s jiným energetickým přechodem atomu (pro ^{87}Rb např. 480 nm, „modrý“ laser), potom jsou vytvořeny dvě „svázané“ energetické hladiny s podobnou energií. Dochází k destruktivní interferenci a je vytvořeno transparentní okénko (EIT), kterým může procházet světlo

vazebního (červeného) laseru a na detektoru je měřena jeho větší intenzita. Stav EIT je velmi citlivý na změny fáze laserů a změny energetických stavů systému. Pokud použijeme zdroj elektromagnetického pole, které vybudí rezonanci s blízkým Rydbergovým přechodem, vznikne čtvrtá energetická hladina, která porušuje symetrii EIT interference a může vytvořit další ostrou rezonanci (transparentnost látky). Princip je naznačen na **obr. 1**, měří se míra rozladění spektrálních čar po aplikaci vnějšího elektrického pole.

Intenzita elektrického pole je měřitelná s vysokou přesností, protože technika EIT redukuje měření amplitudy napětí na měření kmitočtu optického záření. Měření intenzity el. pole na různých kmitočtech je dosaženo rozladěním vazebního laseru. Atomy lze excitovat v širokém rozmezí energetických stavů a s jednou komorou lze měřit intenzitu elektrického pole E v kmitočtovém rozsahu cca 1 GHz až 500 GHz v širokém rozmezí intenzit [7]. Nárazné měření intenzity elektrického pole na kmitočtech nad 110 GHz v současnosti nenabízí žádný světový národní metrologický institut a tato metoda by mohla umožnit návazná měření teoreticky až do sub-THz kmitočtových pásem. Návaznost na základní jednotky SI je v případě měření pomocí EIT přímější, než pomocí sond s elektrickými dipóly, navíc tato metoda nevyžaduje kalibraci, protože parametry atomů jsou invariantní a metoda pouze minimálně narušuje tvar aplikovaného elektrického pole. Dosažitelná citlivost metody je až 0,01 mV/m (páry izotopu rubidia ^{87}Rb , [10]) a je závislá především na stabilitě laserů použitých pro excitaci a fázování Rydbergových stavů. V principu lze použít i další alkalické prvky z 1. skupiny periodické tabulky (Li, Na, K, Cs, Fr).

Nejistota měření touto metodou je závislá na aspektech částicové fyziky (diskutovány např. v [10]) a na nejistotách pocházejících z průchodu elektromagnetického pole komorou, které se zdají být dominantní. Jedná se např. o vytvoření stojatého vlnění uvnitř skleněné komory vlivem odrazů o stěny nebo rozdílné rozložení intenzity elektrického pole uvnitř komory oproti rozložení ve volném prostoru. Komora by tedy měla být pokud možno co nejmenší [7], [11]. Metrologická návaznost metody spočívá v přímé souvislosti s vlastnostmi atomů, jmenovitě atomovými Rydbergovými vlnovými funkcemi nebo dipólovými momenty, které lze určit s velmi vysokou přesností moderními spektroskopickými metodami (kmitočtové hřebeny a zchlazené atomy pro detekci kvantových poruch v Rydbergových atomech nebo měření Starkova posunu v energetických hladinách atomů po aplikaci elektrického pole). Výhodou kvantové metody je také možnost měřit intenzitu elektrického pole už v blízkém poli (což lze klasickými principy na vysokých kmitočtech jen velmi těžko). Praktické aspekty měření jsou shrnuty v přehledovém článku [12]. V **tab. 1** jsou porovnány hlavní rozdíly mezi klasickými sondami elektrického pole na principu dipólu a kvantových senzorů [13].

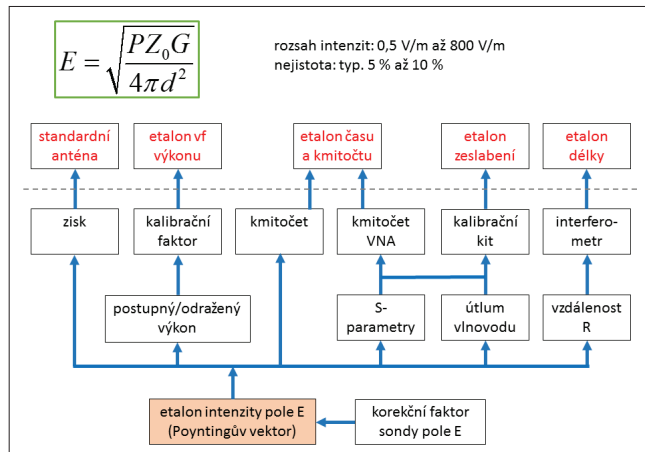
Srovnání řetězce návaznosti měření intenzity elektrického pole pomocí klasických sond na principu dipólu a kvantového standardu je proveden v **obr. 2** a **obr. 3**.



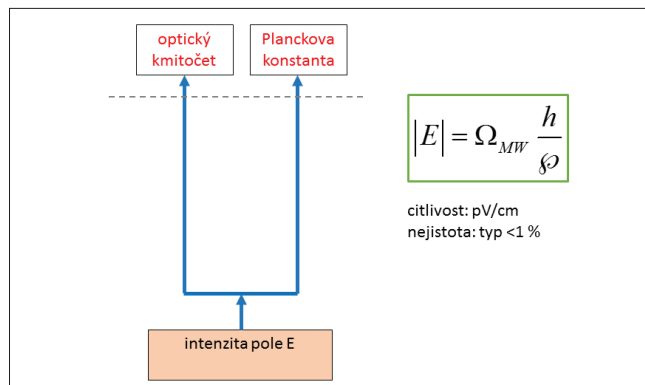
Obr. 1: Energetický diagram atomů ^{87}Rb a rezonanční křivky před/po aplikaci vnějšího elektromagnetického pole (a); princip měřicí metody (b). Detaily viz [10].

Tab. 1: Srovnání vlastností dipólových sond a kvantového senzoru pro měření intenzity elektrického pole.

	klasické dipólové sondy	kvantový senzor
kmitočtový rozsah	<100 GHz	~ 1 GHz až 500 GHz
citlivost	0,1 V/m	~ 10 ⁻¹⁰ V/m (limit)
nejistota	5 % - 10 % (0,5 dB - 1 dB)	< 1 %
prostorové rozlišení	~ λ/2	~ λ/100
rozměry	relativně velké, kmitočtově závislé	lze umístit na čip, mikro-buňky s plynem
kalibrace	nutno kalibrovat ve standardním elektrickém poli	samokalibrace
návaznost	složitá	vztah s Planckovou konstantou

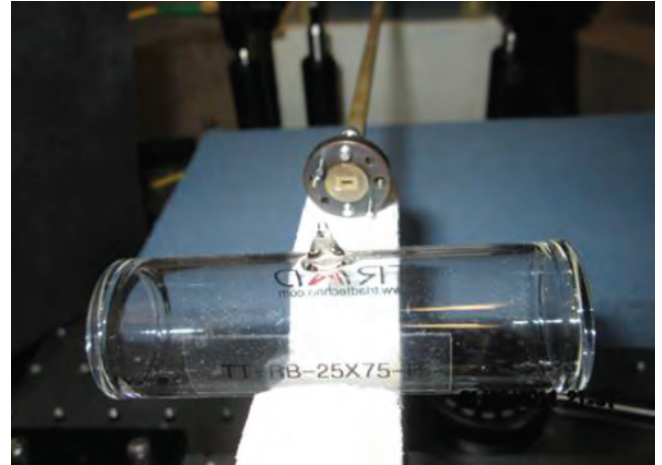


Obr. 2: Schéma metrologické návaznosti sond pro měření intenzity elektrického pole.

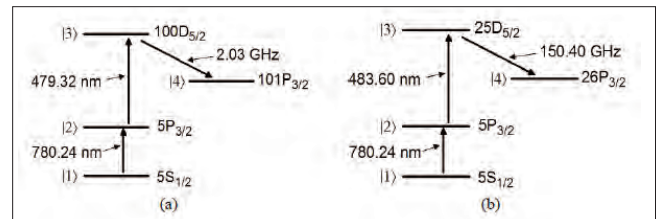


Obr. 3: Schéma metrologické návaznosti kvantového senzoru pro měření intenzity elektrického pole.

Měřicí systém vyvinutý v National Institute for Standards and Technology (USA) používá izotop rubidia ⁸⁵Rb, u kterého lze dosáhnout dostatečně vysokého tlaku par v komoře při pokojové teplotě. Komoře naplněná plynem je zobrazena na **obr. 4**.



Obr. 4: Komoře naplněná plynem, v pozadí ústí vlnovodu ozařujícího komoru elektromagnetickým zářením. Systém NIST [7].



Obr. 5: Dva příklady energetických hladin izotopu atomu ⁸⁵Rb; (a) přechod pro vnější pole 2,03 GHz, (b) přechod pro vnější pole 150,4 GHz [7]; „S“, „D“, „P“ značí orbitální moment hybnosti elektronu.

Atomy v komoře lze modelovat jako prostředí s efektivní permitivitou

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi), \quad (13)$$

kde χ je elektrická susceptibilita. Podle [14] lze susceptibilitu vyjádřit jako

$$\chi = \frac{jN |\wp_p| \Omega_p}{|E_p| \varepsilon_0} \frac{\Omega_{RF}^2 + 4D_{13}D_{14}}{D_{12}\Omega_{RF}^2 + D_{14}\Omega_c^2 + 4D_{12}D_{13}D_{14}}, \quad (14)$$

kde

$$D_{li} = \gamma_{li} - j\Delta_p, \quad (15)$$

N je hustota atomů v komoře a indexy 12, 13 a 14 značí přechody ze stavu „i“ do stavu „l“ (např. 12 značí přechod ze stavu |2⟩ do |1⟩, viz **obr. 5**). Parametr γ_{li} označuje četnost rozpadů jednotlivých stavů (zde „i“ je 2-4), Δ_p je rozladění vazebního laseru ($\Delta_p = \omega_0 - \omega_p$, kde ω_0 je rezonanční úhlový kmitočť stavů |1⟩ a |2⟩ a ω_p je úhlový kmitočť vazebního laseru). Veličiny Ω_c , Ω_p , Ω_{RF} jsou Rabiho kmitočty jednotlivých přechodů a jsou dány vztahem

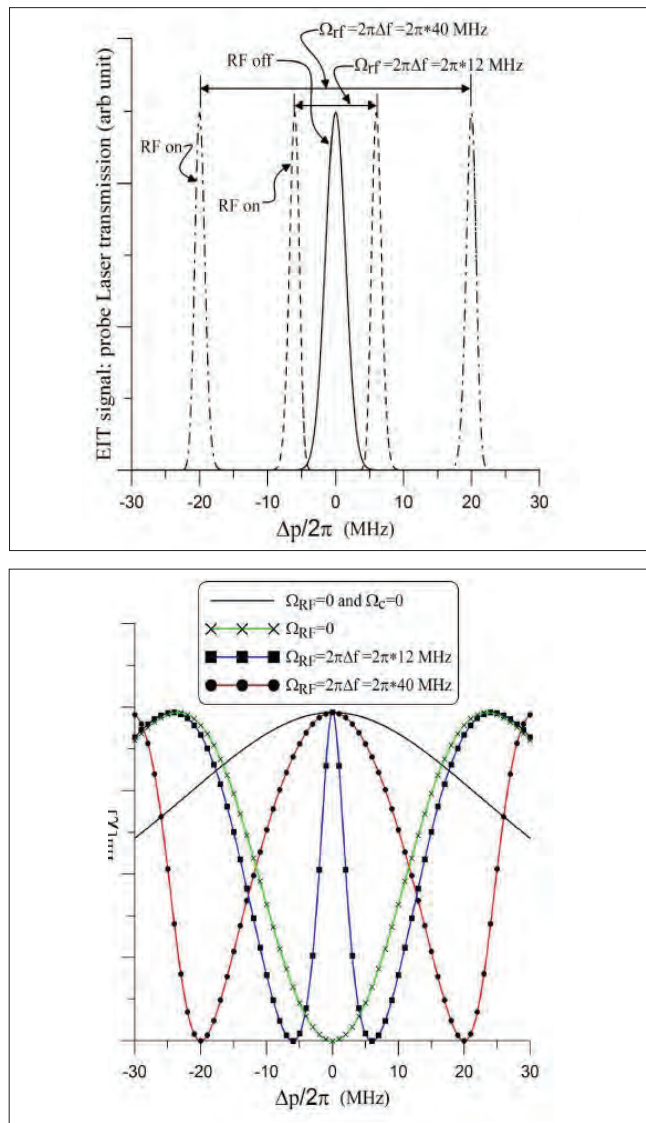
$$\Omega_{p,c,RF} = |E_{p,c,RF}| \frac{\wp_{p,c,RF}}{\hbar}, \quad (16)$$

kde $\hbar$ je Planckova konstanta, $|E_{p,c,RF}|$ jsou intenzity elektrického pole vazebního laseru, budícího laseru a přivedeného v elektrického pole. Symboly $\wp_p$, $\wp_c$ a $\wp_{RF}$ značí atomové

dipólové momenty odpovídající přechodům mezi energetickými hladinami budicího laseru, vazebního laseru a vf elektrického pole. Amplitudu koeficientu přenosu T vazebního laseru procházejícího komorou lze potom aproximovat jako

$$|T| = \exp\left(-\frac{2\pi L \operatorname{Im}[\chi]}{2\lambda_p}\right), \quad (17)$$

kde L je délka komory a λ_p je vlnová délka vazebního laseru. Intenzita vazebního svazku měřená na detektoru je potom $I = I_0 |T|^2$. Intenzita signálu EIT na detektoru je potom mírou intenzity aplikovaného vnějšího elektrického pole (tzn. Ω_{RF}). Na **obr. 6** (nahore) je zobrazen signál EIT (tzn. $|T|^2$) jako funkce Δ_p pro zvyšující se Ω_{RF} . Zvyšováním intenzity elektrického pole se zvětšuje rozestup mezi maximy. Pokud bychom zkoumali $\operatorname{Im}[\chi]$ v **obr. 6** (dole), potom je vidět, že při $\operatorname{Im}[\chi] = 0$ dochází k nulové absorpci a na detektoru je měřitelná velká amplituda signálu.



Obr. 6: EIT signál (nahore) a $\operatorname{Im}[\chi]$ (dole) pro různé Ω_{RF} jako funkce Δ_p pro $\Omega_c = 40$ MHz [7].

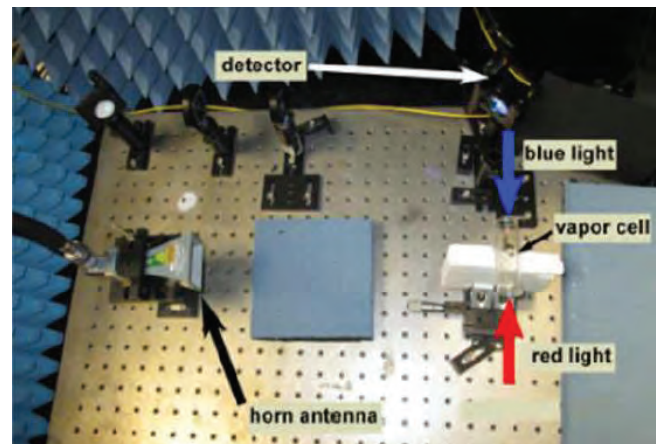
Pozorovatelný rozestup maxim v **obr. 6** (nahore) pro $\Omega_{RF} \neq 0$ je označován jako Autler-Townesovo štěpení [8] (Δf_0 , měřeno v hertzech) a je svázán s Rabiho kmitočtem ($\Omega_{RF} = 2\pi\Delta f_0$). Intenzita elektrického pole je tedy potom vyjádřena jako

$$|E_{RF}| = \frac{\hbar}{\wp_{RF}} \Omega_{RF} = 2\pi \frac{\hbar}{\wp_{RF}} \Delta f_0. \quad (18)$$

K určení intenzity elektrického pole je tedy potřeba měřit Δf_0 . Planckova konstanta je známá a jedinou neznámou zůstává dipólový moment $\wp_{RF}$, který lze určit ze základních principů částicové fyziky jako

$$\wp_{RF} = e\vec{\varepsilon} \int \Psi_3^* \vec{r} \Psi_4 dV, \quad (19)$$

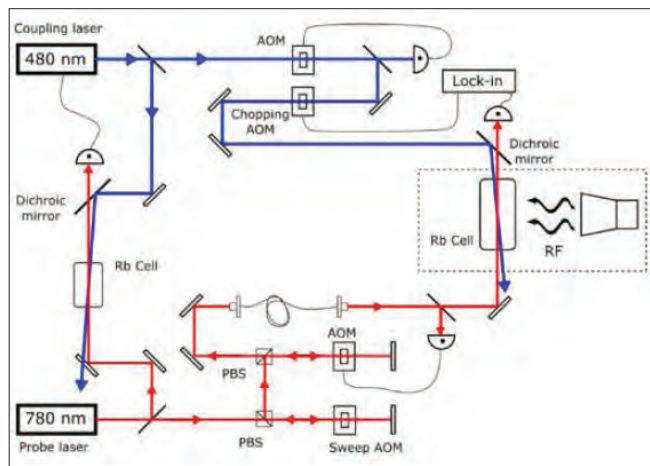
kde e je elektrický náboj, $\vec{\varepsilon}$ je polarizační vektor laserového svazku a Ψ_3 a Ψ_4 jsou vlnové funkce počátečního a konečného stavu pro přechod mezi hladinami 3 a 4 v **obr. 5**. Vlnové funkce jsou řešením Schrödingerovy rovnice pro každý z těchto stavů. V článku [7] jsou ukázány příklady pro různé kombinace přechodů mezi hladinami a kmitočty budicího a vazebního laseru, detailnější teoretická analýza a některé praktické aspekty měření jsou diskutovány v [15]. Fotografie systému je uvedena na **obr. 7**. Pro omezení šumu a odstranění dopplerovského posunu čar bylo použito amplitudové klíčování s kmitočtem 30 kHz a následně lock-in zesilovač. Validaci měření je porovnání měřené intenzity elektrického pole s výpočtem (vzdálená oblast antény).



Obr. 7: Fotografie měřicího systému NIST [7]. Vf elektromagnetické pole je přivedeno trychtýřovou anténou nebo ústím obdélníkového vlnovodu (vyšší kmitočty).

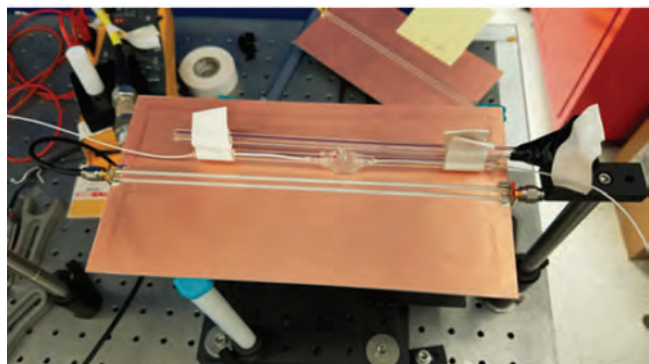
V článku [11] bylo měřicí uspořádání dále zdokonaleno tak, aby umožňovalo umístit komoru s parami Rb mimo měřicí stůl na konec optického vlákna. Blokové schéma takového uspořádání je ukázáno na Obr. 8. V tomto uspořádání byl použit kromě izotopu rubidia ^{85}Rb i izotop césia ^{133}Cs z důvodu snadnějšího měření intenzity elektrického pole na nižších kmitočtech. Měření velmi malých intenzit elektrického < 1 mV/m pole je problematické z důvodu obtížnějšího rozlišení čar Autler-Townesova štěpení. Metody pro zvýšení

citlivosti detekce bez nutnosti chlazení detektoru na nízké teploty jsou diskutovány např. v [16], [17].



Obr. 8: Blokové schéma experimentálního zařízení NIST [11]. AOM = akusticko-optický modulátor, PBS = polarizační dělič.

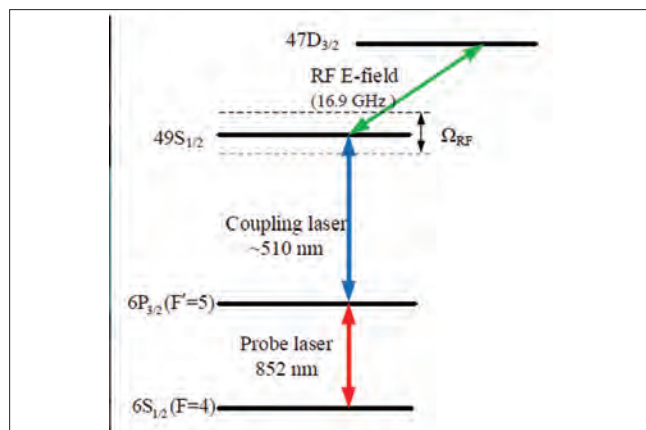
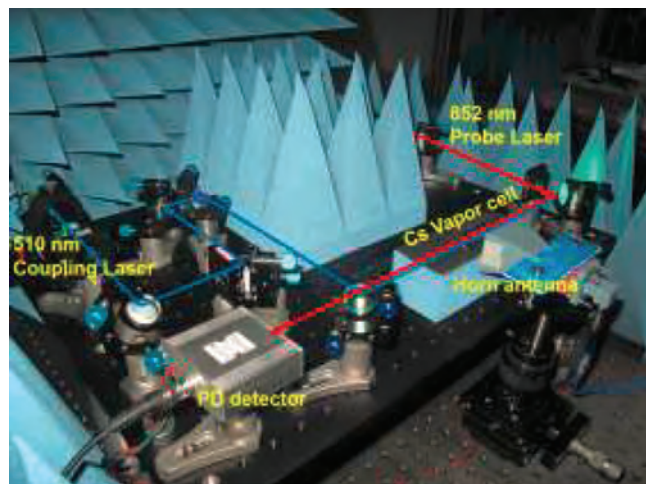
Autoři [11] uvažují použití systému i pro měření blízkého pole např. v okolí nano- a mikrostruktur, kde by bylo možné měřit s prostorovým rozlišením menším než je vlnová délka vyzařovaného elektrického pole, což bylo ukázáno na měření prostorového rozložení elektrického pole v komoře s plynem s prostorovým rozlišením menším než polovina vlnové délky na kmitočtu 104,77 GHz. Prostorové rozlišení metody není určeno velikostí komory s plynem, ale šířkou svazku budicího a vazebního laseru (optická difrakční mez vlnové délky laserů). Autoři [11] dále ukázali,



Obr. 9: Měření rozložení elektrického pole nad koplanárním vedením (nahore) a uvnitř μ -TEM cely (dole) pomocí miniaturní sondy s optickými vlákny [11].

že komoru s plynem lze umístit i mimo laboratorní stůl a laserové záření lze do komory s plynem přivést pomocí optických vláken. Tím lze měřit např. prostorové rozložení elektrického pole nad koplanárním vedením nebo v tzv. μ -TEM cele pro kalibraci sond elektrického pole, viz obr. 9. Analýza nejistot měření tohoto systému byla provedena v [18], kde jsou nejistoty měření rozděleny na „kvantové jevy“ (určení dipólových momentů $\propto$ Rydbergových přechodů a ověření linearitu vztahu (18)) a „nejistoty měřicího systému“ (rozdíl mezi kmitočty maxim při štěpení energetických hladin, opakovatelnost měření, parametry komory naplněné plynem ovlivňující rozložení elektrického pole a jeho polarizaci).

Pro redukci systematických chyb byla provedena také optimalizace samotné komory s plynem [12], přičemž byly provedeny experimenty s různými materiály, tloušťkou stěny komory, velikostí a tvarem komory a byly provedeny také experimenty s komorou naplněnou směsí par atomů ^{85}Rb a ^{133}Cs [19]. Pro takový experiment je nutné najít takové stavy energetických přechodů, které se vyznačují velkým dipólovým momentem (měřený kmitočet rozladění je přímo úměrný dipólovému momentu) a pro excitaci požadovaných stavů v atomech obou prvků bylo zapotřebí použít dva systémy budících a vazebních laserů



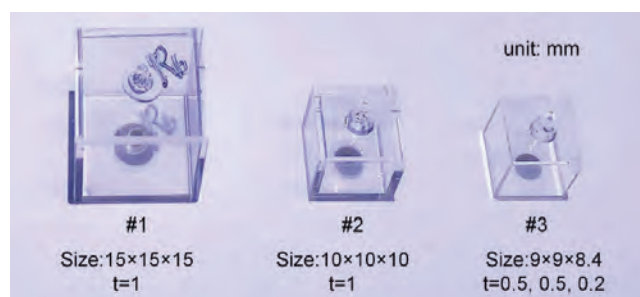
Obr. 10: Uspořádání systému pro měření intenzity elektrického pole v NIM Čína [20] (nahore), použitý diagram přechodů mezi energetickými hladinami izotopu ^{133}Cs (dole).

(480 nm a 780 nm ^{85}Rb a 510 nm a 850 nm pro excitaci ^{133}Cs). Svazky všech čtyř laserů jsou fokusovány do jednoho bodu uvnitř komory a jsou použity dva různé fotodetektory. Měřicí systém se dvěma různými plyny umožňuje lépe kvantifikovat některé efekty vznikající při měření a lépe analyzovat nejistoty měření.

Systém pro měření intenzity elektrického pole na kvantovém principu je vyvíjen také v Center of Advanced Measurement Science čínského národního metrologického institutu (National Institute of Metrology, NIM). Rydbergovy atomy jsou vytvořeny excitací par izotopu cézia ^{133}Cs ve skleněné komoře pomocí dvou polovodičových laserů s vlnovými délkami 852 nm a 510 nm [20]. Vf elektromagnetické pole je vytvořeno trychtýřovou anténou, která ozařuje komoru s plynem. Autler-Townesovo štěpení nastává pro kmitočet vf záření 16,9 GHz. Fotografie měřicího uspořádání a diagram energetických přechodů jsou uvedeny na **obr. 10**. Spolu s měřením intenzity elektrického pole je demonstrováno také měření rozložení intenzity elektrického pole s rozlišením detailů menších, než odpovídá polovině vlnové délky elektrického pole na daném kmitočtu.

V roce 2018 začal NIM experimentovat také s izotopem atomu rubidia ^{87}Rb a detekčním principem umožňujícím měřit i velmi malé intenzity elektrického pole [13]. Blokové schéma měřicího systému je uvedeno na **obr. 11**. Při měření jsou zohledněny další efekty, které ve své době autoři z NIST [7] neuvažovali a které způsobují chyby při měření kmitočtu rozladění, nestabilitu přechodů mezi energetickými stavy apod. Výstupní úroveň vazebního (780 nm) laseru byla stabilizována $\pm 1\%$ a pro dosažení lepšího poměru signálu k šumu byl vazební laser modulován harmonickým signálem 50 kHz pomocí akusticko-optického modulátoru (AOM). Stěny komory s plynem byly zahřáty na teplotu 60 °C pro zvýšení hustoty atomů v komoře (a tím zvýšení detekovaného výkonu) pomocí dalšího laseru s vlnovou délkou 1550 nm. Velká pozornost je věnována také optimalizaci komory naplněné

plynem ^{87}Rb , která může díky vnitřním rezonancím způsobovat mírné narušení uniformity elektrického pole a jeho polarizace [21]. Optimalizace geometrie komory byla provedena už v [12] a dále zdokonalena v [22]. Měřicí komora by měla být co nejmenší, což ovšem na velmi vysokých kmitočtech snižuje citlivost měření, protože laserové záření a externí elektrické pole interagují s menším počtem atomů Rb nebo Cs. Pro omezení rezonancí (Fabry-Perotův jev) je také účelné vyrobit stěny komory co nejtenčí. Ukázka komor s různými rozměry je na **obr. 12**, rezonanční kmitočty takových dutin jsou v rozmezí 13 GHz až 42 GHz. Materiálem komory byl Pyrex s relativní permitivitou 4,532 a ztrátovým činitelem $\tan\delta = 0,022$. Tlak plynu ^{87}Rb uvnitř komory byl 10^{-5} Pa.



Obr. 12: Komory použité v experimentech pro optimalizaci měření intenzity el. pole [22]; rozměry odpovídají vnějšímu plášti, t je tloušťka stěny.

Analýza nejistot celého měřicího systému byla provedena v [23], viz **obr. 13**. Celková rozšířená nejistota měření je 0,57 %, což je zhruba $10\times$ méně, než nejistota dosažitelná pomocí sond elektrického pole na principu rezonančních dipólů.

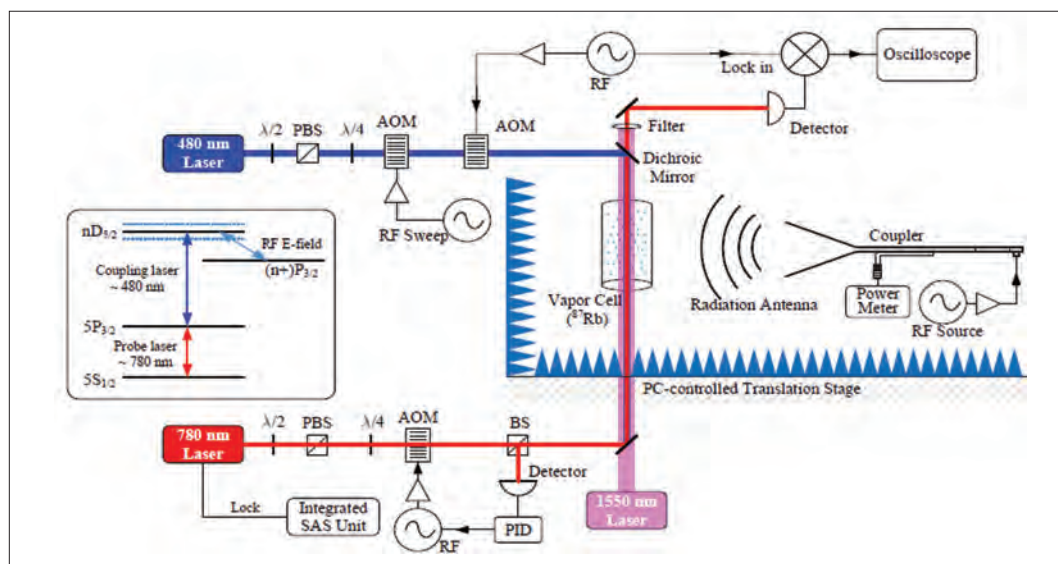
Systém popsaný výše může být samozřejmě použit i pro jiné aplikace, kde je vyžadováno metrologicky návazné měření intenzity elektrického pole. Příkladem je např. měření zisku antén [24]. Při použití trychtýřové antény platí pro intenzitu

elektrického pole ve vzdálené zóně následující vztah

$$|E| = \frac{\sqrt{30P_{\text{net}}G}}{d}, \quad (20)$$

kde G je zisk trychtýřové antény (bezrozměrný), d je vzdálenost od apertury antény k bodu měření a P_{net} je výkon dodaný do vysílací antény (W). Porovnáním se vztahem (18) dojdeme ke vztahu

$$G = \frac{(\hbar\Omega_{\text{RF}}d)^2}{30\epsilon_0^2 P_{\text{net}}}. \quad (21)$$



Obr. 11: Blokové schéma měřicího systému v NIM [13] s použitím ^{87}Rb .

Sources of Uncertainty		Description	Values $s(\bar{x}_i)$	Distribution	Divisor	c_i	$u(\bar{x}_i)$	v_i or v_{eff}
Dipole moment calculation $u(p)$	(1) Calculation error (type B)	Calculation deviation of different models	0.10%	Normal	1	1	0.10%	inf
	(2) Fitting error	Lorentz fitting error of AT splitting	0.16%	Normal	1	1	0.16%	inf
	(3) Environment field	Geomagnetic field (~0.5Gauss) induced Zeeman effect	0.41%	Normal	1	1	0.12%	10
	(4) Broadening mechanism	Temperature (atomic density) and laser intensity	0.94%	Rectangular	1.73	1	0.16%	10
AT Splitting Determination $u(\Delta f)$	(5) Two-photon detuning	Relative detuning noise between coupling and probe lasers (with detuning noise of 50 kHz)	0.24%	Normal	1	1	0.07%	10
	(6) Nonlinear effects	For very weak field and near-ionization effect at extremely strong field	0.82%	Rectangular	1.73	1	0.14%	10
	(7) Polarization mismatch	Polarization mismatch between laser and E-field	0.47%	Rectangular	1.73	1	0.08%	10
	(8) Technical noise	Photo diode detector and selection of amplifier gain	0.42%	Rectangular	1.73	1	0.07%	10
	(9) Repeatability	Measurement repeatability	0.10%	Normal	1	1	0.03%	10
Combined uncertainty (quantum effects)				Normal			0.34%	91
RF effects	(10) Vapor cell disturbance	RF cavity resonance and scattering effect of a atomic vapor cell change the magnitude, polarization and spatial distribution of incident RF field.	2.64%	Rectangular	1.73	1	0.46%	10
Combined uncertainty (total)				Normal			0.57%	23

Obr. 13: Složky nejistoty měření systému NIM [23].

5. Závěr

Z předchozí rešerše literatury je patrné, že kvantové realizaci měření intenzity elektrického pole se ve světě v současnosti věnuje pouze několik národních metrologických institutů (NIST USA, AIST/NMIJ Japonsko a NIM Čína)¹. Všechny uvedené měřicí systémy jsou dosud v experimentální fázi a z dostupných pramenů se jeví, že jednotlivé instituty zatím až na výjimky nedosáhly uspokojivě nízké nejistoty měření, aby bylo možné nahradit jejich stávající etalony. Systém pro měření intenzity elektrického pole v čínském NIM dosahuje cca 10× nižší nejistoty ve srovnání s konvenčními systémy [23]. Všechny systémy diskutované v předchozích kapitolách jsou náročné na konstrukci i provoz a tudíž výzkum na nich prováděný je velmi finančně náročný. Pro měření intenzity elektrického pole na základě kvantových principů je zapotřebí dobře vybavená optická laboratoř s potřebným technickým zázemím.

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu č. 201910131 „Příprava na redefinici jednotek SI v oboru vysokofrekvenčních elektrických veličin“ Českého metrologického institutu.

Použitá literatura

- [1] Kolektiv autorů, “Základní jednotky soustavy SI,” *Metrologie*, roč. 20, č. 4 (tématická příloha), 2011.
- [2] P. Klenovský, “Nové definice základních jednotek soustavy SI,” *Metrologie*, roč. č. 1, str. 18-21, 2019.

- [3] P. J. Mohr, D. B. Newell, B. N. Taylor, E. Tiesinga, “Data and analysis for the CODATA 2017 special fundamental constants adjustment,” *Metrologia*, roč. 55, str. 125-146, 2018.
- [4] R. B. Goldfarb, “The Permeability of Vacuum and the Revised International System of Units,” *IEEE Magnetics Letters*, roč. 8, str. 1-3, 2017.
- [5] J. Kvasnica, “*Teorie elektromagnetického pole*,” Academia, nakladatelství ČSAV, Praha, 1985.
- [6] P. Ripka, M. Janošek, “Advances in Magnetic Field Sensors,” *IEEE Sensors Journal*, roč. 10, č. 6, str. 1108-1116, červen 2010.
- [7] C. L. Holloway et al., “Broadband Rydberg Atom-Based Electric-Field Probe for SI-Traceable, Self-Calibrated Measurements,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, roč. 62, č. 12, str. 6169-6182, 2014.
- [8] S. H. Autler, C. H. Townes, “Stark Effect in Rapidly Varying Fields,” *Physical Review*, roč. 100, č. 2, str. 703-722, 1955.
- [9] M. Fleischhauer, A. Imamoglu, and J. P. Marangos, “Electromagnetically induced transparency: Optics in Coherent Media,” *Reviews Modern Physics*, roč. 77, str. 633-673, duben 2005.
- [10] J. A. Sedlacek et al., “Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapor cell using bright atomic resonances,” *Nature Physics*, roč. 8, č. 11, str. 819-824, 2012.
- [11] C. L. Holloway et al., “Atom-Based RF Electric Field Metrology: From Self-Calibrated Measurements to Subwavelength and Near-Field Imaging,” *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, roč. 59, č. 2, str. 717-728, 2017.

¹ Jsou uvedeny pouze instituty, které se zajímají o metrologické aspekty měření a které navazují na předchozí práci mnoha jiných fyzikálních laboratoří z celého světa. Odkazy na předchozí práce jsou obvykle citovány v článcích výše uvedených národních metrologických institutů.

- [12] Fan et al., "Atom based RF electric field sensing," *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, roč. 48, str. 202001, 2015.
- [13] Z. Song, "Towards a Quantum Standard for Radio-frequency Electric-field", *CCEM workshop on Radiofrequency and microwave metrology: recent developments and challenges*, BIPM, Sevres, Francie, 27. března 2019.
- [14] S. N. Sandhya and K. K. Sharma, "Atomic coherence effects in four-level systems: Doppler-free absorption within an electromagnetically-induced-transparency window," *Phys. Rev. A*, roč. 55, č. 3, str. 2155-2158, 1997.
- [15] C. L. Holloway et al., "Electric field metrology for SI traceability: Systematic measurement uncertainties in electromagnetically induced transparency in atomic vapor," *Journal of Applied Physics*, roč. 121, str. 233106, 2017.
- [16] S. Kumar et al., "Rydberg-atom based radio-frequency electrometry using frequency modulation spectroscopy in room temperature vapor cells," *Optics Express*, roč. 25, č. 8, str. 8625-8637, 2017.
- [17] C. L. Holloway et al., "A quantum-based power standard: Using Rydberg atoms for a SI-traceable radio-frequency power measurement technique in rectangular waveguides," *Applied Physics Letters*, roč. 113, č. 9, str. 094101, 2018.
- [18] M. T. Simons, M. D. Kautz, J. A. Gordon, and C. L. Holloway, "Uncertainties in Rydberg Atom-based RF E-field Measurements," in *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2018)*, Amsterdam, Nizozemí, srpen 2018.
- [19] M. T. Simons, J. A. Gordon, and C. L. Holloway, "Simultaneous use of Cs and Rb Rydberg atoms for dipole moment assessment and RF electric field measurements via electromagnetically induced transparency," *Journal of Applied Physics*, roč. 120, str. 123103, 2016.
- [20] Z. Song, L. Xinmeng, Z. Linjie, Z. Hao and Z. Jianming, "Quantum based RF E-field sensing by using two-photon transition in Rydberg atoms," *2016 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2016)*, Ottawa, ON, 2016, str. 1-2.
- [21] W. Zhang, Z. Song, H. Mu, and S. Bao, "Depolarization effect of a vapor cell in atom-based radio-frequency electric field measurement," *Japanese Journal of Applied Physics*, roč. 57, str. 090310, 2018.
- [22] Z. Song, W. Zhang, Q. Wu, H. Mu, X. Liu, L. Zhang, and J. Qu, "Field Distortion and Optimization of a Vapor Cell in Rydberg Atom-Based Radio-Frequency Electric Field Measurement," *Sensors*, roč. 18, č. 3205, str. 2-14, 2018.
- [23] H. Zou, Z. Song, W. Zhang, J. Zhang, "Uncertainty Evaluation of Rydberg Atom-based RF E-field Metrology," *IEEE Int. Symp. Antennas and Propagation (APS)*, Atlanta, Georgia, USA, příspěvek č. 1781, červenec 2019.
- [24] S. Zhenfei et al., "Quantum-Based Determination of Antenna Finite Range Gain by Using Rydberg Atoms," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1589-1592, 2017.



INFORMACE ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ



České kalibrační sdružení, z.s.
Slovinská 47, 612 00 Brno
Člen sdružení EUROCAL

e-mail: sekretar@cks-brno.cz
www.cks-brno.cz



ČKS z.s. připravuje

	Termín konání:	Místo konání:
Seminář „Vodoměry a měřidla tepla“	24. až 25. září 2020 <i>Jedná se o přesunutý seminář plánovaný v březnu 2020.</i>	Hotel Skalský Dvůr, Lísek u Bystřice nad Pernštejnem
60. odbornou konferenci ČKS spojenou se schůzí spolku	24. až 25. listopad 2020	Hotel Skalský Dvůr, Lísek u Bystřice nad Pernštejnem



Programy a přihlášky budou uveřejněny na webových stránkách ČKS www.cks-brno.cz. Na těchto stránkách naleznete rovněž informace o podmínkách členství v Českém kalibračním sdružení, kontakt je e-mail: sekretar@cks-brno.cz

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI – PŘINÁŠÍ NOVINKY ZE SVĚTA TECHNICKÝCH NOREM

Ing. Miroslav Čermák

Zdroj: Magazín ČAS 2/2020; Česká agentura pro standardizaci



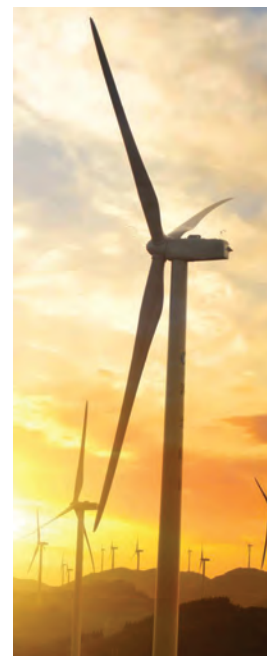
Na jaře tohoto roku byly vydány tyto technické normy v oblasti Elektrotechniky:

ČSN IEC 60479-1 (33 2010) Účinky proudu na člověka a domácí zvířectvo – Část 1: Obecná hlediska, která poskytuje základní návod, týkající se účinků proudu způsobujícího úraz na lidské bytosti a hospodářská zvířata, a **ČSN IEC 60479-2 (33 2010)** Účinky proudu na člověka a domácí zvířectvo – Část 2: Zvláštní hlediska, druhá část souboru, která vychází v dubnu 2020. Oba tyto dokumenty uvažují pouze s proudy, které jsou lidským tělem vedeny v důsledku přímého přiložení zdroje proudu na lidské tělo, neuvažují s proudem indukovaným v těle z důvodu vystavení těla vnějšímu elektromagnetickému poli.

V dubnu 2020 byla vydána **ČSN EN 1127-1 ed. 3 (38 9622)** Výbušná prostředí – Prevence a ochrana proti výbuchu – Část 1: Základní koncepce a metodika, jedná se o následný překlad normy vydané oznámením ve Věstníku. Tento dokument stanoví metody pro identifikaci a hodnocení nebezpečných situací vedoucích k výbuchu a odpovídající projektová a konstrukční opatření pro požadovanou bezpečnost. Ze stejného oboru se v dubnu 2020 vydává také **ČSN EN ISO/IEC 80079-20-1 (33 2320)** Výbušné atmosféry – Část 20-1: Materiálové vlastnosti pro klasifikaci plynů a par – Zkušební metody a data. Tato norma uvádí návod pro klasifikaci plynů a par. Popisuje zkušební metodu určenou pro měření maximální experimentální bezpečné spáry (MESG) pro směsi plynu nebo par se vzduchem za normálních podmínek teploty a tlaku (20 °C, 101,3 kPa) tak, aby bylo možné zvolit správnou skupinu zařízení. Tento dokument rovněž popisuje i zkušební metodu určenou pro stanovování teploty vznícení par nebo plynů ve vzduchu při atmosférickém tlaku tak, aby bylo možné zvolit odpovídající teplotní třídu zařízení.

Z oblasti elektroenergetiky stojí za zmínku **ČSN EN IEC 61400-1 ed. 3 (33 3160)** Větrné elektrárny – Část 1: Konstrukční požadavky, která byla vydána v květnu 2020. Jedná se o následný překlad normy stejného označení, jež byla zavedena oznámením ve Věstníku v září 2019. Norma specifikuje základní konstrukční požadavky, zajišťující strukturální integrity větrných elektráren. Jejím úkolem je zajistit patřičnou úroveň ochrany před

všemi druhy poškození po celou dobu plánované životnosti. Tento dokument se zabývá všemi dílčími systémy větrných elektráren, jakými jsou například ovládací a ochranné funkce, vnitřní elektrické systémy, mechanické systémy a podpůrné konstrukce. Tento dokument platí pro větrné elektrárny všech velikostí. Významným aspektem je také ochrana větrných elektráren před bleskem. Touto problematikou se zabývá **ČSN EN IEC 61400-24 ed. 2 (33 3160)** Větrné elektrárny – Část 24: Ochrana před bleskem. Tento dokument mimo jiné definuje prostředí s výskytem blesků a vyhodnocuje rizika, která toto prostředí představuje pro větrné elektrárny. Definuje požadavky na ochranu listů vrtule, ostatních konstrukčních prvků a elektrických i řídicích systémů před jak přímým, tak nepřímým působením blesku. Obsahuje i zkušební metody pro ověření shody. V únoru byla také vydána **ČSN IEC 60076-7 (35 1001)** Výkonové transformátory – Část 7: Směrnice pro zatěžování výkonových transformátorů ponořených do minerálního oleje. Tato norma poskytuje směrnici pro technické podmínky a zatěžování výkonových transformátorů z hlediska provozních teplot a tepelného stárnutí. Poskytuje doporučení pro zatěžování nad štítkovou hodnotu a směrnici pro projektanty pro volbu příslušných jmenovitých veličin a podmínek zatěžování pro nová zařízení. Norma uvádí matematické modely pro posuzování následků různých zatížení při různých teplotách chladicího média a s přechodnými nebo cyklickými časovými změnami. Modelování se vztahuje jak na malé transformátory, které jsou zde označeny jako distribuční transformátory, tak i výkonové transformátory.



Velký zájem lze předpokládat také o **ČSN EN IEC 61482-1-1 ed. 2 (35 9743)** Práce pod napětím – Ochranné oblečení proti tepelným účinkům elektrického oblouku – Část 1-1: Zkušební metody – Metoda 1: Stanovení hodnoty tepelné výkonnosti oblouku (ELIM, ATPV a/nebo EBT) materiálů pro oblečení a ochranného oblečení používaného při otevřeném oblouku. Tato norma specifikuje zkušební metody ke stanovení odolnosti ohnivzdorných materiálů oblečení a oděvů nebo sestav oděvů proti tepelnému účinku oblouku určených pro použití v oblečení pro pracovníky, pokud existuje nebezpečí elektrického oblouku.

FOR ARCH

31. STAVEBNÍ VELETRH

FOR GARDEN

14. VELETRH PRO ZAHRADY



PVA
EXPO PRAHA

www.pvaexpo.cz

POPRVÉ V SOUBĚHU:

FOR CITY | 25 | 9 | 2020

INOVATIVNÍ ŘEŠENÍ PRO MĚSTA, OBCE A REGIONY

22.-26. 9. 2020

GENERÁLNÍ
PARTNER



PARTNER

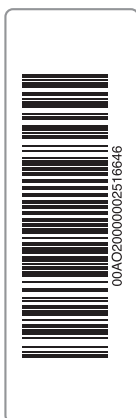


ODBOBNÝ PARTNER
DOPROVODNÉHO
PROGRAMU



www.tzb-info.cz

OFICIÁLNÍ
VOZY



00AC20000002515646

Přikládejte ke čtečce kódem nahoru.

ČESTNÁ VSTUPENKA

NEPRODEJNÉ | Vstupenka neopravňuje k bezplatnému parkování.



FOR ARCH

31. STAVEBNÍ VELETRH

FOR GARDEN

14. VELETRH ZAHRADNÍ ARCHITEKTURY, ZELENĚ,
NÁBYTKU, ZAHRADNÍ A KOMUNÁLNÍ TECHNIKY

POPRVÉ V SOUBĚHU:

FOR CITY | 25 | 9 | 2020

INOVATIVNÍ ŘEŠENÍ PRO MĚSTA, OBCE A REGIONY

PVA
EXPO PRAHA

GENERÁLNÍ
PARTNER



PARTNER



ODBOBNÝ PARTNER
DOPROVODNÉHO
PROGRAMU



www.tzb-info.cz

OFICIÁLNÍ
VOZY



22.-26. 9. 2020

www.pvaexpo.cz

NABÍDKA AKCÍ ČMS NA II. POLOLETÍ ROKU 2020



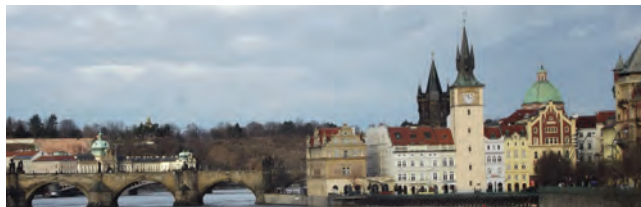
Česká metrologická společnost, z. s.

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel./fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms



Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
14. září 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 567-20	Nejistoty měření ve strojírenství
18. září 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 565-20	Aplikace normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v laboratoři
5. 10. až 8. 10. 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 220	K 564-20	52. základní kurz metrologie

12. října 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 569-20	Měření tvrdosti <i>New!</i> 💡
21. října 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 570-20	Řízení metrologie v organizaci
2. listopadu 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 566-20	Tolerance úchylek tvaru a polohy <i>New!</i> 💡
9. listopadu 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 568-20	Zkoušení kovových materiálů <i>New!</i> 💡

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2020 může být v případě změn aktualizována. Další podrobnosti o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení budou postupně uváděny na webových stránkách ČMS www.csvts.cz/cms v menu Odborné akce/Kalendář akcí ČMS.

Aktuální termíny akcí mohou být změněny v návaznosti na aktuální epidemiologickou situaci.

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Ing. Milan Badal, Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc., Ing. Miroslav Čermák, Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Jitka Hrušková, Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Ing. Petr Pánek, CSc., RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek.

Přizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % 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, Na Žertvách 132/24, 180 00 Praha 8. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2020. 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:

Měření teploty lidského těla

Photo on the front page:

Measuring Human Body Temperature

