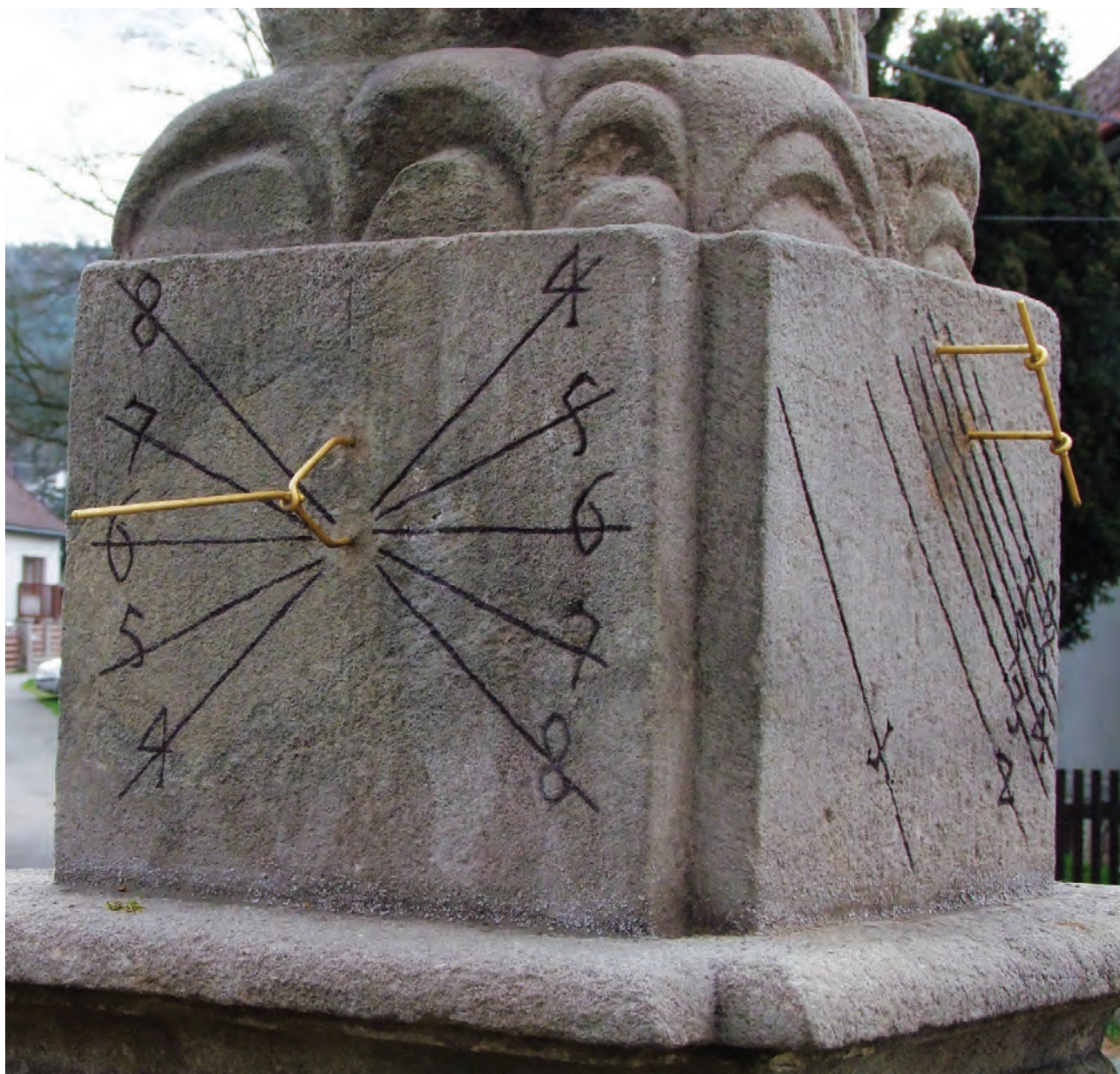


3/2023
ROČNÍK 32

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



VĚDA A VÝZKUM

Ing. Milada Chudíčková, Ph.D.
Technologie „organ-on-chip“ jako výzva
pro standardizační úsilí1

Ing. Martin Hudlička, Ph.D.
Porovnání měření materiálových parametrů
na milimetrových a sub-THz kmitočtech
pomocí optických, rezonančních a VNA metod4

Ing. Martin Koval, Ph.D., Ing. Martin Staněk
Software ve zdravotnických prostředcích
z pohledu nařízení 2017/745/EU
o zdravotnických prostředcích (MDR)11

HISTORIE

Ing. František Hnízdil
Sluneční hodiny v obci Dobřív u Rokycan –
zajímavá metrologická památka18

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Jak vznikly koncové měrky20

METROLOGIE V PRAXI

**Doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc.; Ing. Radek Sedláček,
Ph.D.; Ing. Michal Špaček; Ing. Blanka Čemusová;
Ing. Alexander Kuna, Ph.D.; RNDr. Ing. Vladimír
Smotlacha, Ph.D.; Ing. Josef Vojtěch, Ph.D.**
Kalibrace systému White Rabbit pro porovnávání
časových stupnic UTC(FEL) a UTC(TP)21

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Bc. Peter Onderčo
Příspěvek k měření parametrů tramvajových tratí27

INFORMACE

Ing. Petr Kříž
Zasedání CEN/TC 19 Ropa a ropné výrobky, Praha,
24.-28. dubna 202331

Ing. Jiří Kazda
Informace o činnosti ČKS33

**doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Bc. Samo Majdák;
Bc. Adam Michalovič; Bc. Peter Onderčo; Bc. Andrej
Smetánka**
Předmět „EXKURZE“ – týden
v Ústí nad Labem35

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2023

SCIENCE AND RESEARCH

Ing. Milada Chudíčková, Ph.D.
“Organ-on-Chip” Technology to Challenge
Standardisation Efforts1

Ing. Martin Hudlička, Ph.D.
Comparison of Material Parameter Measurements
at Millimetre and Sub-THz Frequencies Using
Optical, Resonance, and VNA Methods4

Ing. Martin Koval, Ph.D., Ing. Martin Staněk
Software in Medical Devices Pursuant
to Regulation 2017/745/EU
on Medical Devices (MDR)11

HISTORY

Ing. František Hnízdil
Sundial in Dobřív by Rokycany -
an Interesting Metrological Monument18

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
The Origin of Gauge Blocks20

METROLOGY IN PRACTICE

**Doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc.; Ing. Radek Sedláček,
Ph.D.; Ing. Michal Špaček; Ing. Blanka Čemusová;
Ing. Alexander Kuna, Ph.D.; RNDr. Ing. Vladimír
Smotlacha, Ph.D.; Ing. Josef Vojtěch, Ph.D.**
Calibration of the White Rabbit System for Comparison
of the UTC(FEL) and UTC(TP) Time Scales21

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Bc. Peter Onderčo
A Note on the Measurement of Tram Line Parameters27

INFORMATION

Ing. Petr Kříž
CEN/TC 19 Meeting on Petroleum and Petroleum
Products, Prague, 24-28 April 202331

Ing. Jiří Kazda
Information about the Activities of ČKS33

**doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Bc. Samo Majdák;
Bc. Adam Michalovič; Bc. Peter Onderčo; Bc. Andrej
Smetánka**
The “EXCURSION” Subject – a Week
in Ústí nad Labem35

The List of ČMS Events in the 2nd Half of 2023

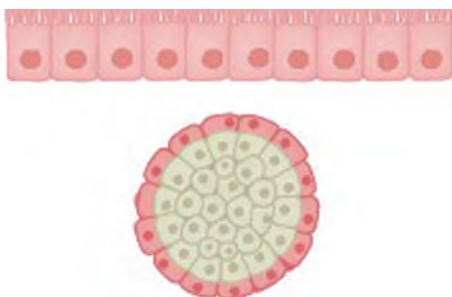
TECHNOLOGIE „ORGAN-ON-CHIP“ JAKO VÝZVA PRO STANDARDIZAČNÍ ÚSILÍ

Ing. Milada Chudíčková, Ph.D.

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Technologie „organ-on-chip“ (dále jen „OOC“) představuje nejnovější kapitolu ve vývoji modelů v oblasti tkáňového inženýrství. Jde o pokročilou formu kultivace buněk v prostředí mikrofluidních čipů, což umožní simulovat celou řadu strukturálních, environmentálních a funkčních vlastností tkání a orgánů.

Za předstupně OOC lze považovat *in vitro* kultivaci jednoho či více typů buněk ve formě sféroidů a organoidů, kultivaci pomocí nanovláknových a hydrogelových matic a kultivaci v prostředích běžných kultivačních termostátů i složitějších bioreaktorů. Toto rozdělení je ovšem umělé, protože i v pokročilejší technologii OOC se tyto postupy stále používají a s jejich pomocí vznikají jak 2D modely typu vrstvy buněk, tvořící prostou bariéru, tak i 3D modely typu organoid (obr. 1). [1]



Obr. 1: Nahoře 2D bariérový model OOC, tvořený prostou vrstvou buněk, dole 3D organoid, převzato z [1]

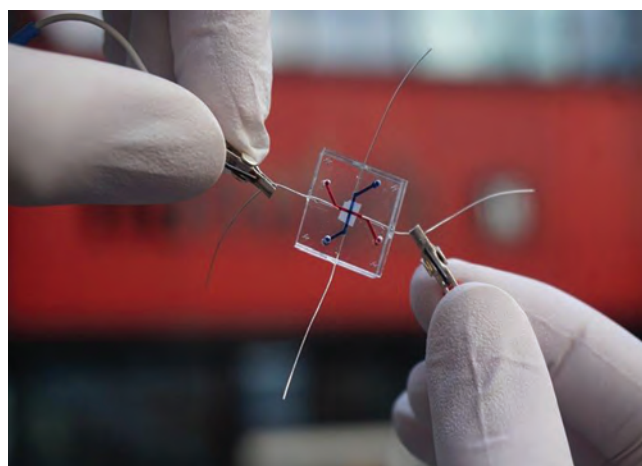
Co do dokonalosti nápodoby živého organismu jde stále pouze o modely, kterými doposud nelze zcela nahradit použití zvířecího modelu, ačkoli právě sem směřuje úsilí ve vývoji OOC. Jde ale o významný mezistupeň, již na pomezí stavu *in-vivo*, který umožní přesnější modelování fyziologických i patologických stavů. Toho lze využít například k efektivnímu preklinickému testování léčiv či kosmetiky za současného respektování etických požadavků 3R (replacement, reduction, refinement), vztahujících se na studie na zvířatech.

Příkladem, ilustrujícím možnosti, které technologie OOC poskytuje, je společná kultivace několika typů buněk (například jaterních hepatocytů spolu se specifickými formami jaterních endoteliálních buněk, pericytů a makrofágů), které tak vytváří 3D model jaterní tkáně. V tom lze současně uplatnit řadu biochemických a fyzikálních signálů a stimulů, jako je třeba vliv substrátu s tuhostí odpovídající extracelulární matrix typické pro danou tkáň nebo proudění média, které svou rychlostí odpovídá skutečným fyziologickým poměrům *in vivo*. Takový systém je dostatečně detailní nejen pro ověření bezpečnosti léčiva, ale i pro studium jeho metabolické

přeměny při průchodu jaterní tkání. Případným použitím indukovaných pluripotentních kmenových buněk, odvozených přímo z buněk pacienta, by do tohoto systému byl vnesen další prvek, který by následně umožnil například personalizované testování odezvy na dané léčivo, a to již na klinické úrovni. [1, 2]

O úroveň výše oproti kultivaci buněk jediného orgánu na čipu stojí multiorganové uspořádání a koncepty „body-on-chip“ a „animal-on-chip“, jako je například společný model jater, ledvin, srdce a plic, a to včetně simulace dýchacích pohybů. Z praktických důvodů se zde (v porovnání s předěšlým modelem jednoho orgánu) zvolí nižší míra detailu ve prospěch vyššího stupně komplexity a sleduje se vliv metabolizovaného léčiva na další tělní orgány a jejich vzájemná interakce.

OOC je v principu mikrofluidní čip se sestavou mikrokanálů (obr. 2), osazených buňkami, kombinovaný s integrovanými obvody, umístěný v prostředí, které co do teploty a skladby kyslíku a oxidu uhličitého odpovídá klasickému inkubátoru. Buňky jsou vyživovány kultivačním médiem v objemu pohybujícím se řádově v mikro- až pikolitrech a oběh média zajišťuje systém pump. [1, 2]



Obr. 2: Jednoduchá verze technologie OOC, mikrofluidní čip se sestavou dvou mikrokanálů, převzato z [9]

Volba materiálu pro systém mikrokanálů čipu závisí na konkrétním případě. Nejčastější jsou silikonové polymery, konkrétně polydimetylsiloxan. Tento materiál je biokompatibilní, prostupný pro plyny a vhodný pro tvorbu složitějších nanostruktur, ale není vhodný pro velkoobjemovou produkci. Navíc, pokud půjde o technologii vázanou na prostředí čistých prostor, se to v závěru promítne do vyšší výrobní ceny tohoto řešení. Další možností jsou termoplasty jako polymethylmetakrylát či polykarbonát. Jsou levné, opticky transparentní a výrobně nenáročné, ale jejich využití je omezené – nejsou vhodné pro tvorbu složitějších struktur, hodí se třeba pro velkoobjemový skřínink. Použit lze samozřejmě sklo, což je robustní a inertní materiál s nízkou autofluorescencí,

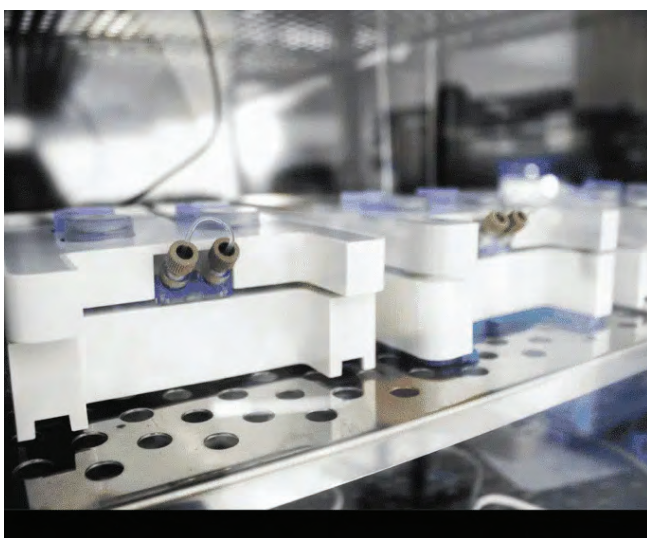
ale je zároveň křehký a náročný na proces přípravy, takže ve výsledku jde rovněž o cenově náročnou volbu. [1]

Realizace jednotlivých OOC se samozřejmě liší v závislosti na celé řadě proměnných. OOC prototypy vznikají v běžném laboratorním prostředí celého světa, například zařízení na **obr. 3** je výsledkem práce týmu Dr. K. S. Kaushik, Savitribai Phule Pune University v Indii a slouží k simulaci prostředí infikovaného kožního poranění. [3, 4]

Na **obr. 4** je oproti tomu pokročilejší komerční zařízení Omi Fluigent, adaptované na provoz v běžném buněčném inkubátoru a umožňující kontrolu prostřednictvím mikroskopu, ve své podstatě hi-tech obdoba kultivačních nádob. [5]



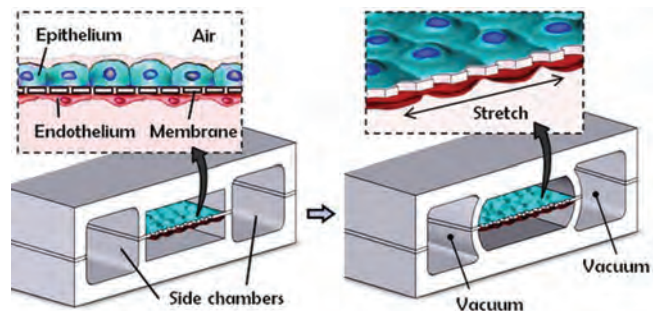
Obr. 3: OOC prostředí pro simulaci průběhu kožní infekce, vyvinuté v laboratorii Dr. K. S. Kaushik, Savitribai Phule Pune University, převzato z [3] a [4]



Obr. 4: OOC platforma Omi výrobce Fluigent, převzato z [5]

Vůbec první lidský OOC model byl vyvinut v roce 2010 týmem profesora D. Ingbera, Wyss Institute, Harvard

University, USA. Šlo o plicní model, který napodoboval jak biochemické, tak i mechanické vlastnosti plic, včetně pohybů doprovázejících dýchání, a to prostřednictvím rozpínání a smršťování membrány, která tvoří podklad pro buňky plicního endotelu a epitelu (**obr. 5**). [8]



Obr. 5: První lidský OOC model plic, převzato z [8]

V roce 2014 vznikl v témže prostředí startup Emulate Inc., který v současnosti nabízí kompletní OOC řešení pod obchodním názvem Human Emulation systém, zahrnující modely mozku, plic, jater, ledvin, tenkého a tlustého střeva. Jednotlivé čipy (detail vlevo nahoře na **obr. 6**) se zabudují do přenosných modulů, které obsahují kultivační média (detail vpravo nahoře na **obr. 6**), ty se vloží do softwarově ovládaného kultivačního boxu (detail vlevo dole na **obr. 6**), který se propojí se zdrojem laboratorních plynů (kompletní sestava vpravo dole na **obr. 6**). Celý systém je napojen na internet, zálohuje data v prostředí cloudu, a lze jej tedy kontrolovat a řídit na dálku. [7]



Obr. 6: Systém Emulate (dole vpravo) se skládá z jednotlivých čipů (nahore vlevo), přenosných modulů s kultivačním médiem (nahore vpravo), kultivačního boxu (dole vlevo) a zdroje laboratorních plynů, převzato z [7]

Je zřetelné, že od roku 2010 roste počet OOC aplikací exponenciální řadou, od živelně vznikajících prototypů až

po úspěšné startupy. Obrovský rozptyl mezi jednotlivými aplikacemi ovšem způsobuje, že je lze jen s obtížemi nějak charakterizovat, klasifikovat či standardizovat, ačkoli právě to je nezbytné pro zajištění dalšího růstu. V posledních letech vznikla za tímto účelem řada iniciativ podporovaných na nadnárodní úrovni, příkladem je třeba současná společná iniciativa CEN/CENELEC a Společného výzkumného centra Evropské komise *Organ on chip: building a roadmap towards standardisation. Putting Science into Standards* anebo starší projekt ORCHID. Tyto organizace také (pro přechodné období, než začnou vznikat normy) zastřešují přípravu návodů a doporučení typu best practice guide, které jsou v současnosti k dispozici. [6, 9]

Reference:

- [1] Leung CM, de Haan P, Ronaldson-Bouchard K *et al.* A guide to the organ-on-a-chip. *Nat Rev Methods Primers* 2, 33 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43586-022-00118-6>
- [2] Thompson CL, Fu S, Knight MM *et al.* Mechanical Stimulation: A Crucial Element of Organ-on-Chip Models. *Front Bioeng Biotechnol.* 10, 8 (2020). doi: 10.3389/fbioe.2020.602646. Erratum in: *Front Bioeng Biotechnol.* 18, 9 (2021). PMID: 33363131; PMID: PMC7758201
- [3] Joel P. Joseph https://epaperhehindu.com/ccidist-ws/th/th_delhi/issues/26795/OPS/G31AU9B46.1+G1TAU9H3I.1.html
- [4] Kadam S, Nadkarni S, Lele J *et al.* Bioengineered Platforms for Chronic Wound Infection Studies: How Can We Make Them More Human-Relevant? *Front Bioeng Biotechnol.* 13, 7 (2019). doi: 10.3389/fbioe.2019.00418. Erratum in: *Front Bioeng Biotechnol.* 04, 7 (2020). PMID: 31921821; PMID: PMC6923179.
- [5] <https://www.fluigent.com/research/instruments/automated-organ-on-chip-platform/>
- [6] Piergiorgio M, Jenet A, Batista Leite S *et al.* Organ on chip: building a roadmap towards standardisation. *Putting Science into Standards*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-43354-5, doi:10.2760/819439, JRC126163.
- [7] <https://emulatebio.com/>
- [8] Huh D, Matthews BD, Mammoto A *et al.* Reconstituting organ-level lung functions on a chip. *Science.* 25, 328 (2010). doi: 10.1126/science.1188302. PMID: 20576885; PMID: PMC8335790. <https://wyssarvard.edu/technology/human-organs-on-chips/>
- [9] European Commission, Joint Research Centre, Taucer, F., Mian, L., Jenet, A. *et al.*, Organ on chip – Building a roadmap towards standardisation : putting science into standards, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/819439>, <https://cordis.europa.eu/article/id/415449-a-european-front-on-organ-on-chip-technology>



SLAVNOSTNÍ OTEVŘENÍ LISTOVY PASÁŽE V PRAZE

Zaměstnanci Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) a České agentury pro normalizaci (ČAS) měli možnost 7. června zúčastnit se malé, ale významné slavnosti. Pasáž spojující Biskupský dvůr a Těšnov v Praze 1 dostala oficiálně jméno po profesoru Vladimíru Listovi – Listova pasáž. Obě zmíněné organizace sídlí na adrese Biskupský dvůr 1148/5, v budově, která je jedním ze vstupů do pasáže.

Rodák z nedalekého pražského Karlína profesor Vladimír List se významnou měrou zasloužil o zavedení systému tvorby technických norem a spoluzaložil Českou normalizační společnost, v předválečných letech byl také předsedou Mezinárodního normalizačního sdružení (ISA). Po 2. světové válce stál u zrodu ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci).

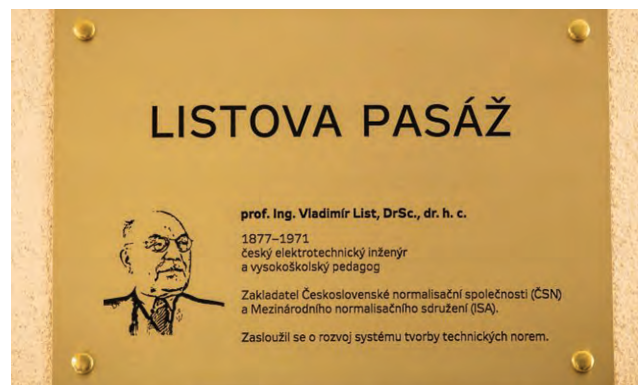
Na práci profesora Vladimíra Lista v oblasti technické normalizace staví také ÚNMZ a od roku 2018 i ČAS.

Na slavnostním otevření Listovy pasáže a odhalení pamětní desky prof. Lista se podílel předseda Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví Viktor Pokorný a generální ředitel České agentury pro standardizaci Zdeněk Veselý. Mezi dalšími hosty byli například místostarosta Prahy 1 David Bodeček a také Jaroslav List, který je prasnynovcem profesora Lista a shodou okolností vystudoval stejnou univerzitu (VÚT Brno), na které jeho prastrýc mnoho let přednášel.

Viktor Pokorný, předseda ÚNMZ, mimo jiné uvedl:

„Přínos profesora Vladimíra Lista je velmi rozsáhlý; byl to on, kdo stál téměř před sto lety za prvními plány na postavení pražského metra a významně se zasadil o elektrifikaci Československa... Současně to byl on, kdo se významně angažoval ve vytváření a prosazování prvních československých technických norem. Jsem proto velmi rád, že si můžeme vše, co pro náš stát udělal, připomenout nejen pamětní deskou, kterou jsme dnes odhalili, ale i nově otevřenou pražskou pasáží nesoucí jeho jméno.“

Zdroj: <https://www.agentura-cas.cz/praha-je-o-jednu-pasaz-bohatsi-jmenuje-se-listova/>



Pamětní deska u vchodu do pasáže

POROVNÁNÍ MĚŘENÍ MATERIÁLOVÝCH PARAMETRŮ NA MILIMETROVÝCH A SUB-THZ KMITOČTECH POMOCÍ OPTICKÝCH, REZONANČNÍCH A VNA METOD

Ing. Martin Hudlička, Ph.D.

Český metrologický institut

1. Úvod

Měření materiálových parametrů, zejména komplexní permitivity, je důležité pro vývoj mikrovlnných a THz technologií, např. substrátů a dielektrických komponent pro telekomunikace (pouzdra mobilních terminálů, substráty) a automobilový průmysl (senzory pro autonomní vozidla, radarové systémy). Potřeba přesného měření komplexní permitivity se ukazuje i v oblasti biomedicíny (tělní implanáty), vesmírných aplikacích (radomy antén), materiálovém výzkumu a dalších oblastech. Připomeňme, že relativní permitivita ϵ_r je vlastnost materiálu, která udává schopnost elektrického pole pronikat látkou. V makroskopickém přiblížení platí $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, kde ϵ_0 je permitivita vakua a \mathbf{D} a \mathbf{E} jsou vektory elektrické indukce a intenzity elektrického pole. Historicky bylo vyvinuto mnoho různých technik vhodných pro různá kmitočtová pásma, typy materiálů, ztrátové činitele, velikosti a tloušťky vzorku apod., viz např. [1]. V MHz oblasti jsou obvykle používána otevřená nebo uzavřená přenosová vedení se známým vztahem mezi intenzitou elektromagnetického pole a konstantou šíření nebo rezonanční dutiny [2]. Tyto metody jsou ovšem obtížně použitelné v oblasti mikrovln nebo sub-THz kmitočtů vzhledem k velmi malým rozměrům vlnodů a mechanickým omezením, proto jsou s výhodou používány bezkontaktní metody ve volném prostoru [3], [4]. Pro THz spektroskopii byly po dlouhou dobu jediným řešením optické techniky založené na použití laserů v kmitočtové (Frequency-Domain Spectroscopy, FDS) nebo časové (Time-Domain Spectroscopy, TDS) oblasti [5], [6]. Rozvoj polovodičových technologií v posledních několika letech umožnil rozšíření kmitočtového rozsahu elektronických komponent až do sub-THz oblasti. Základem takových systémů je obvykle vektorový analyzátor obvodů (Vector Network Analyser, VNA) s rozšiřujícími jednotkami umožňujícími bezkontaktní materiálová měření ve volném prostoru do kmitočtů přesahujících 1 THz. Pro měření rozptylových parametrů a z nich odvozených materiálových parametrů měřeného vzorku musí být celá sestava adekvátně zkalibrována [3]. Na trhu je dostupný také systém využívající žebrované (corrugated) kruhové vlnovody a konverzi vlnodů vidů pro dosažení rovinné vlny v referenční rovině materiálového vzorku (SWISSto12 Material Characterization Kit, MCK [7]) až do kmitočtu 750 GHz. Existují i další metody, jako např. elipsometrická spektroskopie využívající změny polarizace paprsku při šikmém odrazu od vzorku.

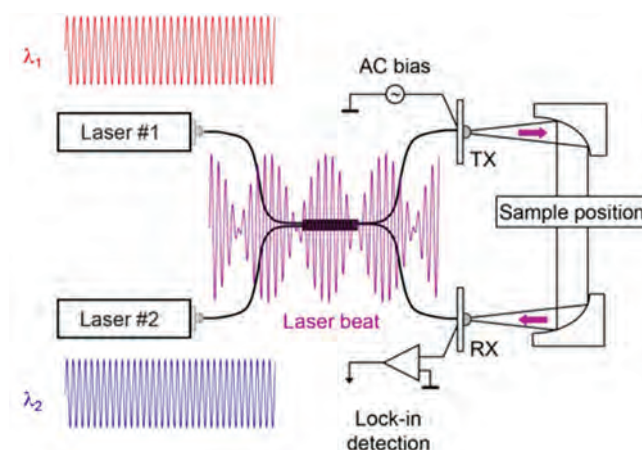
Pro porovnání mezi použitelností jednotlivých systémů a metod pro extrakci materiálových parametrů bylo v rámci

EURAMET EMPIR projektu TEMMT [12] zorganizováno mezilaboratorní porovnání měření materiálových parametrů, které bude diskutováno v dalším textu.

2. Optické metody

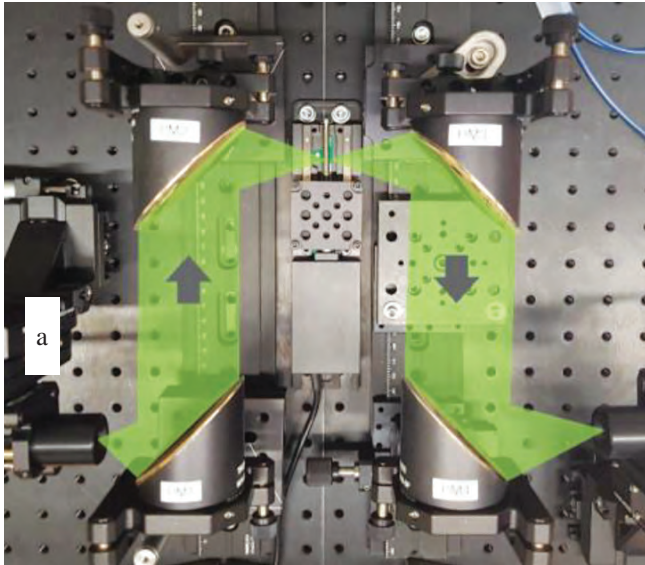
2.1 Terahertzová spektroskopie v kmitočtové oblasti (THz FDS)

Tato metoda předpokládá použití dvou fotosměšovačů (např. optických vazebních členů) a dvou laserových vln o různých vlnových délkách. Výstupem z fotosměšovače je záněj v THz oblasti, který je dále vyzářen a detekován pomocí PCA (photoconductive) antén, **obr. 1**. Metrologická návaznost na standardy vyšší přesnosti je zajištěna měřením optických kmitočtů obou zdrojů záření pomocí referenčního vlnoměru. Ladění THz kmitočtu se provádí změnou rozdílu vlnových délek laserů, např. teplotně ladiitelnými lasery s distribuovanou zpětnou vazbou (Distributed Feedback Laser, DFB).



Obr. 1: Schéma THz spektrometru v kmitočtové oblasti

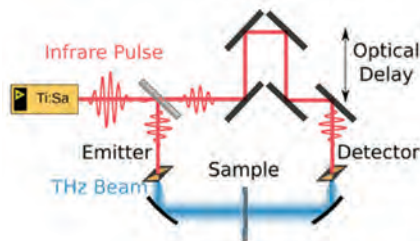
Spektrometr je obvykle nutné zkalibrovat (kmitočet a linearita) pomocí známého referenčního materiálu. Z komplexního koeficientu přenosu a zjištěné tloušťky vzorku jsou pak určeny materiálové parametry pomocí standardní metody, ve které je vypočtena převrácená hodnota přenosového koeficientu a získán komplexní index lomu n . Z komplexního indexu lomu jsou pak vypočteny všechny související materiálové parametry jako komplexní permitivita a absorpční koeficient. Detekce je provedena obvykle pomocí lock-in zesilovače, který zpracovává zánějový signál z THz fotosměšovačů. Kmitočtový krok je typicky 5 MHz a dynamický rozsah kolem 80 dB (500 GHz), který klesá až k 20 dB (jednotky THz). Ukázka systému používaného ve švýcarském institutu METAS je na **obr. 2**.



Obr. 2: Fotografie FDS systému ve švýcarském institutu METAS. Černé válce jsou fotoměšovače, zelená oblast označuje cestu THz záření, které je fokusováno parabolickými zrcadly.

2.2 Terahertzová spektroskopie v časové oblasti (THz TDS)

Principem měření je vyslání a detekce ultrakrátkého impulzu (infračervená oblast) se šířkou pásma až několika THz generovaného polovodičovým laserem. Laserový impulz je nejprve rozdělen do dvou svazků, přičemž jeden prochází po fokusaci zrcadly nebo čočkami měřeným materiálem a druhý (referenční) prochází optickou cestou s proměnným časovým zpožděním. Detekce referenčního impulzu s proměnlivým časovým zpožděním a impulzu procházejícího měřeným vzorkem je pak provedena v balančním směšovači (princip ekvivalentní vzorkovacímu osciloskopu, kdy měřený signál je funkcí času a výsledný naměřený průběh je dán konvolucí časově zpožděného vzorkovacího impulzu a skutečného tvaru impulzu na výstupu THz antény). Systém je schématicky znázorněn na obr. 3.



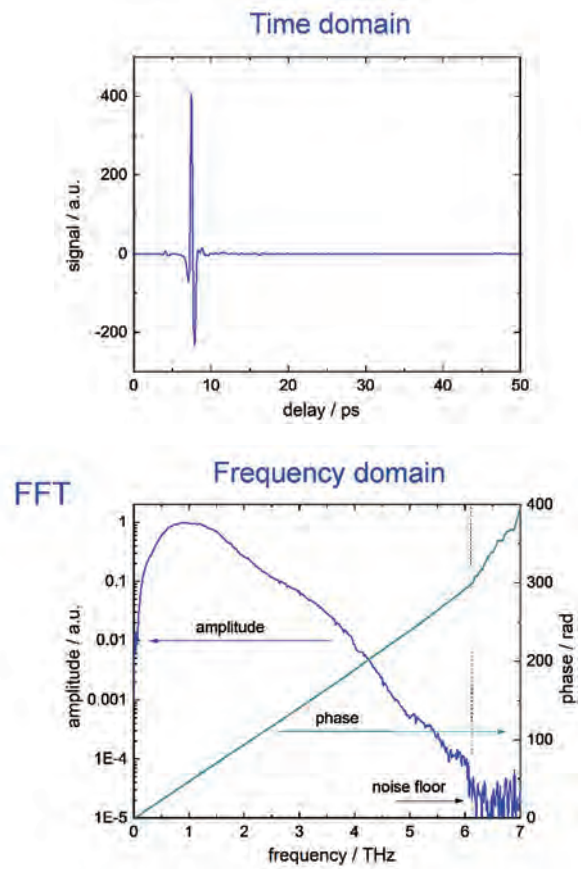
Obr. 3: Schéma THz TDS. Konverze laserového paprsku na THz záření je provedena pomocí fotovodivé (PCA) antény

V porovnání materiálových parametrů (kapitola 5) byly použity různé komerční systémy se zrcadly nebo čočkami. Ukázka systému TPS spectra 3000 (TeraView) používaného polským institutem WAT je na obr. 4. Pro eliminaci absorpčních čar vlivem atmosférické vlhkosti je nutné celý systém provozovat v ochranné atmosféře nebo použít suchý vzduch. Amplitudové ($E(f)$) a fázové ($\phi(f)$) spektrum signálu po

průchodu materiálovým vzorkem je pak získáno pomocí Fourierovy transformace časových vzorků, obr. 5.



Obr. 4: Fotografie komerčního systému TPS spectra 3000 (TeraView). Vlevo celkový pohled, vpravo komora pro vložení materiálu (ochranná atmosféra pro eliminaci absorpčních čar vodní páry).



Obr. 5: Časové vzorky průběhu (nahore), amplitudové a fázové kmitočtové spektrum vypočtené pomocí FFT (dole)

Kmitočtově závislý index lomu ($n(f)$) a absorpční koeficient ($\alpha(f)$) vzorků jsou pak vypočteny pomocí standardních vztahů

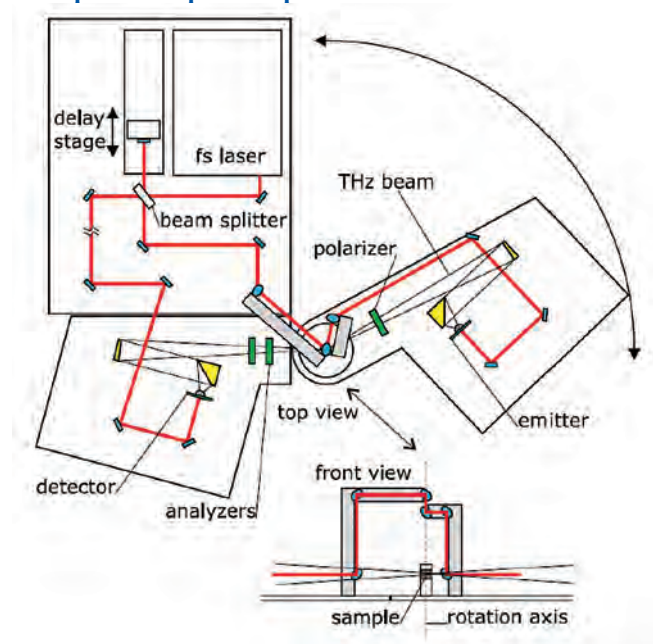
$$n(f) = 1 + \frac{(\phi_s(f) - \phi_{ref}(f))c}{2\pi fd}, \tag{1}$$

$$\alpha(f) = -\frac{2}{d} \ln \left[\frac{(n+1)^2 E_s(f)}{4n E_{ref}(f)} \right], \tag{2}$$

kde c je rychlost světla, d je tloušťka vzorku a dolní indexy s a ref se vztahují k průchodu vzorkem a prázdným systémem. Výhodou THz TDS je jednoznačné a jednoduché určení indexu lomu a absorpčního koeficientu materiálů. Hlavními složkami nejistoty měření jsou nejistota určení tloušťky vzorku a opakovatelnost měření.

U THz spektrometrů je obvykle nutná kalibrace celého systému před měřením. Kmitočtová osa je kalibrována obvykle pomocí referenčních plynů se známými polohami absorpčních čar nebo pomocí kalibračních etalonů ze známého materiálu (např. křemík). Kalibrace amplitudové linearit je provedena pomocí referenčních optických zeslabovačů nebo tenkých křemíkových desek.

2.3 Spektroskopická elipsometrie



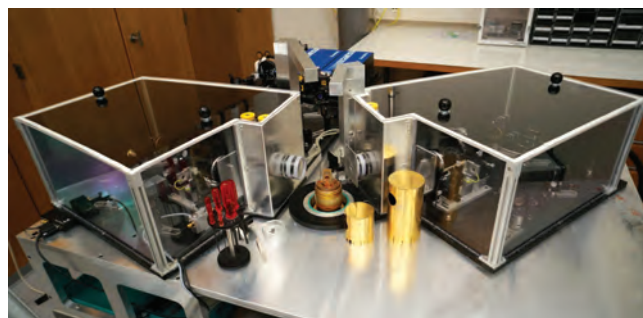
Obr. 6: Princip spektroskopické elipsometrie

Spektroskopická elipsometrie je technika založená na měření změny polarizace záření odraženého od vzorku pod šikmým úhlem dopadu, která se obvykle zapisuje jako elipsometrický poměr

$$\rho = \frac{r_p}{r_s} = \tan \Psi \exp(i\Delta), \quad (3)$$

kde r_p a r_s jsou Fresnelovy koeficienty pro vlnění polarizované v rovině dopadu nebo kolmo na rovinu dopadu, Ψ a Δ jsou elipsometrické úhly. V nejjednodušším případě lze elipsometrii chápat jako měření intenzity v rovině dopadu paprsku (p-polarizace), která je více citlivá na vlastnosti materiálového vzorku než polarizace kolmé k rovině dopadu (s-polarizace), která slouží jako reference. Obě polarizované komponenty dopadají na vzorek materiálu současně a jejich poměr je kontrolován polarizátorem. Odražený paprsek je obecně elipticky polarizován. Měřením elipticity a náklonu odražené polarizace lze určit poměr mezi oběma polarizovanými složkami, $|r_p|/|r_s|$ a jejich vzájemný fázový posun Δ . Princip metody je naznačen na obr. 6 [14].

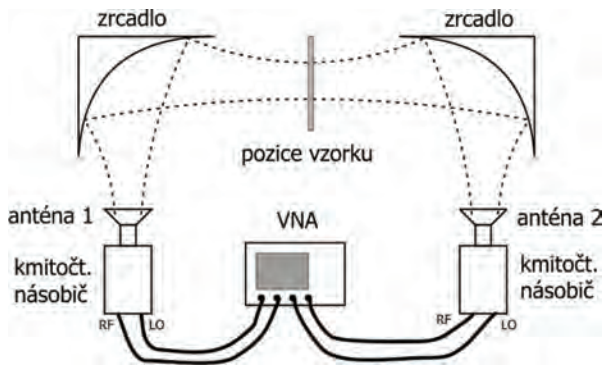
Příklad měření pro porovnání v kap. 5 je následující. Všechny vzorky byly měřeny pro 4 úhly dopadu $\phi = 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ$. Pro každý z nich bylo provedeno několik měření pro opačné natočení azimutu polarizátoru, $P = \pm 30^\circ$. Pro každé nastavení P se pak změřilo 5 azimutů ($A = 0^\circ, 36^\circ, 72^\circ, 108^\circ, 144^\circ$). Z průběhu v časové oblasti byla získána spektra elipsometrických úhlů Ψ a Δ v kmitočtovém pásmu 0,1 THz až 3 THz. Přesnost materiálových parametrů pak závisí na přesnosti úhlu dopadu a na přesnosti měření tloušťky materiálového vzorku. Fotografie systému použitého univerzitou ve Fribourgu (Švýcarsko) pro materiálové porovnání v kapitole 5 je na obr. 7 (celý systém je uzavřen pro eliminaci vlhkosti).



Obr. 7: Fotografie systému pro spektroskopickou elipsometrii

3. Metody využívající vektorový analyzátor obvodů

Tyto systémy obvykle používají znalost geometrie pole v uzavřené struktuře (obdélníkový vlnovod, koaxiální vedení, ...) a známé vztahy mezi naměřenými rozptylovými parametry (S -parametry), konstantou šíření a komplexní permitivitou. Pro velmi vysoké kmitočty jsou už však rozměry vlnovodů velmi malé a nevhodné pro vložení vzorku, takže se používají bezkontaktní metody. Měřicí brány vektorového analyzátoru obvodů (VNA) jsou obvykle osazeny koaxiálními konektory a maximálním kmitočtem typ. 67 GHz. Vyšších kmitočtů se dosahuje pomocí kmitočtových konvertorů s koaxiálními (do 145 GHz, 0,8 mm konektor) nebo vlnovodnými (do 1,1 THz, příruba WR1) zakončením. Dále je nutné použít kvazi-optické komponenty pro konverzi vlnovodných vidů na rovinnou vlnu šířící se ve volném prostoru. Obvykle je použit předpoklad gaussovského tvaru svazku a systém obsahuje kromě VNA ještě vysílací a přijímací antény, zrcadla a dielektrické čočky pro fokusaci svazku. Kalibrace systému v referenční rovině vlnovodových přírub nebo ve volném prostoru je problematická vzhledem k nárokům na velmi přesnou polohu komponent a nedokonalostem kalibračních standardů na těchto kmitočtech. Obvykle je provedena kalibrace na přírubách vlnovodových kmitočtových násobičů některou z metod TRL, TRM. V dalším kroku se namontují antény a provede se druhá kalibrace zohledňující vlastnosti prázdného systému bez měřeného vzorku. Dále je nutné provést matematický posun referenční roviny měření do roviny měřeného materiálu a případně odstranit z naměřených dat odrazy od antén (hradlování v časové oblasti, time-domain gating). Systém ve volném prostoru se zrcadly je ukázán schematicky na obr. 8.



Obr. 8: Kvazioptický systém pro měření materiálových parametrů ve volném prostoru

V posledních letech je pro materiálová měření používán komerční systém firmy SWISSto12 Material Characterization Kit (MCK [7]), který obsahuje žebrované kruhové antény s následným úsekem kruhového vlnovodu pro vytvoření prakticky dokonalého gaussovského svazku (hybridní vid HE_{11} vzniklý jako kombinace vidů TE_{11} a TM_{11} šířících se v kruhovém vlnovodu). Těsně mezi apertury vlnovodů se pak umístí měřený vzorek materiálu, obr. 9. Výrobce MCK doporučuje použití kalibrační metody Gated-Reflect-Line (GRL) a následný přepočítání S -parametrů na materiálové parametry pomocí některé z iterativních technik. Byly vyzkoušeny i jiné kalibrační techniky pro dosažení menší nejistoty měření (např. TRL [13]), nicméně na milimetrových kmitočtech nastávají problémy s malou tloušťkou některých standardů a je potřeba použít přeúčtené metody (např. multiline TRL). Systém se komerčně dodává se všemi hlavními vlnodovými přírubami WR-15 (50-75 GHz) až WR-1.5 (500-750 GHz).



Obr. 9: Měřící uspořádání, MCK připojen k VNA kmitočtovým konvertorům

V literatuře lze nalézt množství analytických nebo iterativních metod pro výpočet materiálových parametrů (permitivita, permeabilita) z naměřených rozptylových parametrů (S -parametrů), které se liší použitelností pro různé tloušťky vrstev, materiálové ztráty, kmitočet nebo velikost permitivity, viz [1], [8], [9]. Některé metody jsou založeny i na algoritmech umělé inteligence (neuronové sítě) a hledají nejlepší shodu naměřených dat s teoretickými. Vztah mezi

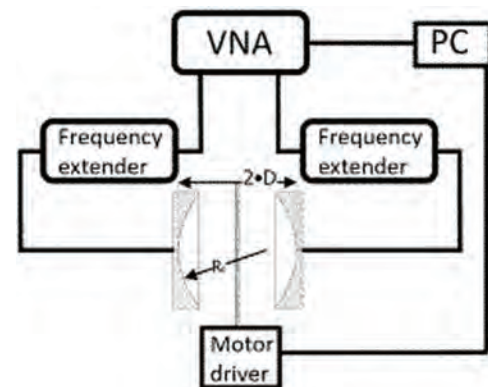
naměřenými S -parametry, činitelem odrazu Γ a činitelem prostupu T ideální dielektrické vrstvy ve volném prostoru po kolmém dopadu rovinné elektromagnetické vlny je dán řešením nekonečné řady vnitřních odrazů uvnitř materiálu (Fabry-Perotův rezonátor). Klasická metoda Nicolson-Ross-Weir (NRW) [1] umožňuje získat permitivitu a permeabilitu zároveň, ovšem je nestabilní pro nízkoztrátové a vysoce odrazivé materiály s $S_{11} \approx 0$ a $|S_{21}| \approx 1$ na specifických kmitočtech.

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1-T^2)}{1-\Gamma^2T^2}, \tag{4}$$

$$S_{21} = \frac{T(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2T^2}. \tag{5}$$

Při použití metody doporučené výrobcem MCK je nejprve provedena kalibrace metodou GRL v referenční rovině antén před měřením S -parametrů. Metoda GRL vyžaduje jeden standard „Thru“ s nulovou délkou, který je realizován jednoduše uzavřením mezery mezi dvěma žebrovanými anténami. Jako standard „Reflect“ je použita kovová odrazná destička (tloušťka 1 mm) uzavřená mezi obě poloviny systému. Následně je aplikováno hradlování v časové oblasti pro oddělení užitečného signálu od parazitních odrazů vlivem připojení MCK k měřicím branám apod. Následně je použit komerční software SWISSto12 pro výpočet materiálových parametrů z naměřených S -parametrů (NRW metoda a NIST iterativní metoda [11]). Výpočet nejistoty měření přesahuje rozsah tohoto příspěvku, nicméně detaily lze nalézt např. v [10], [11].

4. Rezonanční metody



Obr. 10: FPOR systém s kmitočtovými rozšířeními

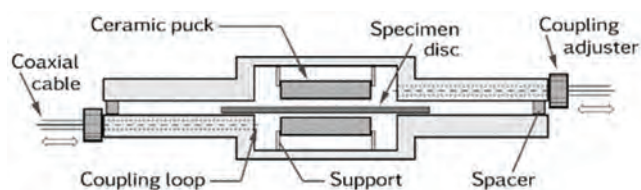
Existuje několik systémů na principu rezonanční dutiny, jejíž rezonanční kmitočet je odlišný po vložení měřeného vzorku a bez něj. Jedním ze systémů je Fabry-Perotův otevřený rezonátor (FPOR) pro měření komplexní permitivity v pásmu 20 GHz až 110 GHz, obr. 11. FPOR je připojen k VNA, který měří koeficient přenosu S_{21} . Pro rozšíření kmitočtového rozsahu lze použít externí násobiče. Reálná a imaginární část komplexní permitivity je potom určena pomocí vztahů

$$\epsilon_r' = 1 + \frac{V}{\alpha \Delta V} \frac{f_0 - f_s}{f_0}, \quad (6)$$

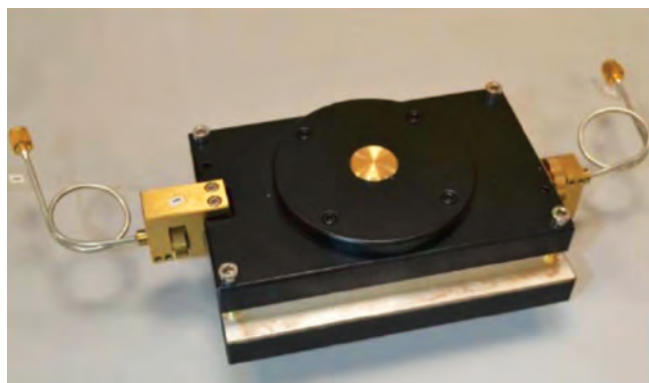
$$\epsilon_r'' = \frac{V}{2\alpha \Delta V} \left(\frac{1}{Q_i} - \frac{1}{Q_e} \right), \quad (7)$$

kde V je objem rezonanční dutiny, α je konstanta určená rezonančním videm, ΔV je objem měřeného vzorku, f_0 je rezonanční kmitočet prázdného rezonátoru a f_s je rezonanční kmitočet dutiny se vzorkem, Q_i je činitel jakosti rezonátoru se vzorkem a Q_e je činitel jakosti prázdného rezonátoru. Rozměry dutiny jsou nastavitelné, takže lze měřit v širokém kmitočtovém pásmu, na rozdíl od systémů s pevnou dutinou s jedním rezonančním kmitočtem.

Dalším systémem je pevná rezonanční dutina, kde opět dochází ke změně rezonančního kmitočtu po vložení vzorku. Příkladem je rezonátor SPDR (Split-Post Dielectric Resonator) s pevnými rezonančními kmitočty cca 1 GHz až 20 GHz a videm TE_{016} . Systém používaný v britském institutu NPL je schématicky ukázán na obr. 11 a jeho fotografie je na obr. 12.



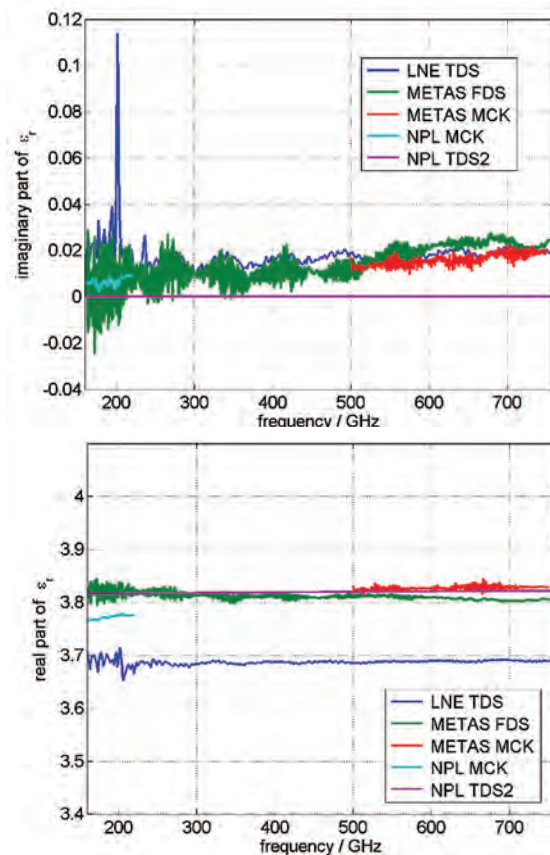
Obr. 11: Schématický náčrt rezonátoru SPDR



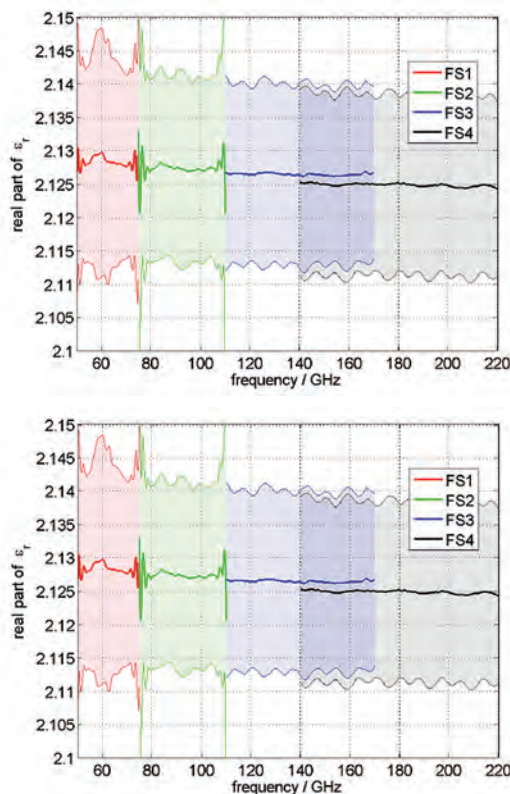
Obr. 12: Fotografie rezonátoru SPDR (NPL)

5. Porovnání měřicích systémů

V rámci projektu [12] bylo v roce 2021 zorganizováno porovnání měření materiálových parametrů (pilotní studie, EURAMET projekt 1514) pomocí různých systémů zmíněných výše, kterého se účastnilo 9 institutů a bylo měřeno celkem 18 vzorků v kmitočtovém pásmu cca 50 GHz až 3 THz s různými vlastnostmi (vysoké/nízké ztráty, různé tloušťky pro ověření algoritmů extrakce materiálových parametrů). Účastníky porovnání byly národní metrologické instituty (ČMI, GUM, LNE, METAS, NPL, PTB, UME), univerzity (Uni Fribourg) a výzkumné instituty (WAT). Vzorky byly tvořeny např. křemenným sklem, TPX (polymethylpenten), yttriovým granátem YAG ($Y_3Al_5O_{12}$) nebo polyetylenem.

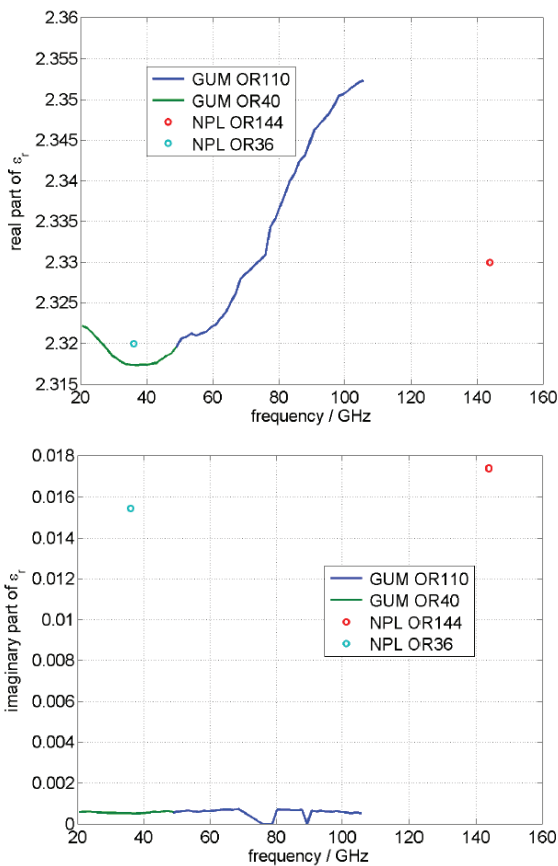


Obr. 13: Naměřená reálná (nahore) a imaginární (dole) složka komplexní permitivity křemenného skla pomocí metod FDS, TDS, MCK



Obr. 14: Naměřená reálná (nahore) a imaginární (dole) složka komplexní permitivity polymethylpentenu (TPX) pomocí VNA ve volném prostoru včetně nejistoty měření (4 různé kmitočtové násobiče)

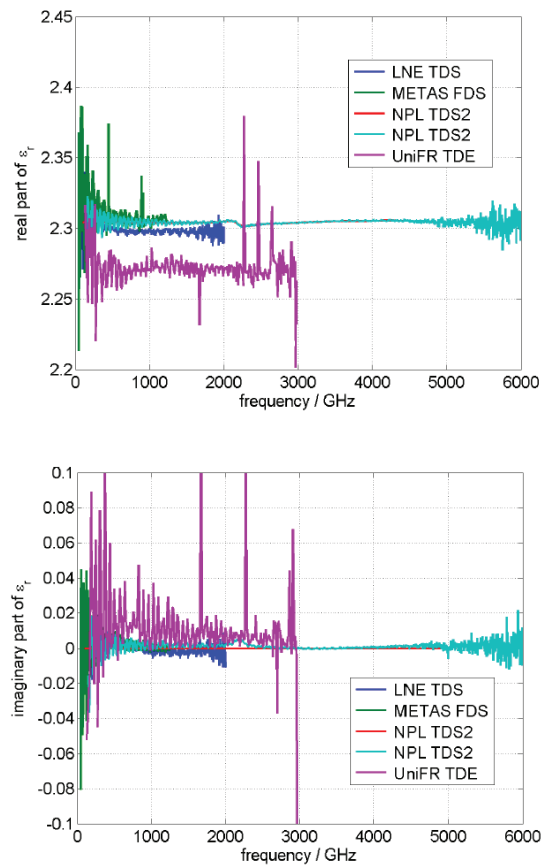
Z velkého množství naměřených dat byla sestavena závěrečná zpráva a naměřené hodnoty byly seskupeny podle různých kritérií (volně ke stažení [15]). Ukázka naměřených hodnot reálné a imaginární části relativní komplexní permitivity v mikrovlnném pásmu je na **obr. 12** (křemenné sklo), **obr. 13** (polymethylpenten) a **obr. 14** (UHMW polyetylen) a v THz pásmu na **obr. 15** (UHMW polyetylen) a **obr. 16**. V rámci porovnání bylo dosaženo relativně dobré shody u většiny materiálů, až na materiály s velmi nízkými ztrátami (imaginární část relativní permitivity blízká nule), které jsou přesně měřitelné obvykle pouze pomocí rezonančních metod. Někteří účastníci porovnání byli schopni vyčíslit i nejistotu měření komplexní permitivity, **obr. 14** (PTB). Nejnižších nejistot měření dosahují obecně rezonanční metody vzhledem k velkému činiteli jakosti rezonátoru.



Obr. 15: Naměřená reálná (nahore) a imaginární (dole) složka komplexní permitivity UHMW polyetyleny pomocí rezonančních metod

6. Závěr

Příspěvek stručně shrnul principy některých metod pro měření materiálových parametrů (komplexní permitivity) na mikrovlnných a THz kmitočtech. Nejmenší nejistoty měření dosahují rezonanční metody s rezonátory s velkým činitelem jakosti. Vzhledem k malým rozměrům rezonanční dutiny je však lze použít max. do kmitočtu cca 110 GHz. Měřicí systémy založené na VNA (měření ve volném prostoru nebo MCK) s konverzí vlnododových vidů na rovinnou vlnu jsou použitelné cca do kmitočtu 750 GHz, kde už je však složité provést kalibraci VNA



Obr. 16: Naměřená reálná (nahore) a imaginární (dole) složka komplexní permitivity UHMW polyetyleny pomocí optických metod

a vyčíslit vliv systematických chyb měření (VNA kmitočtová rozšíření se v současnosti nabízí do 1,5 THz). Nejistota měření je obvykle malá jen na izolovaných kmitočtech. Optické systémy pracující až do kmitočtů několika THz vykazují obecně velkou chybu měření na kmitočtech pod 500 GHz. Hlavními úskalími při měření jsou tloušťka a homogenita vzorku, kalibrace kmitočtové osy a linearita amplitudy. Nejistota měření je u těchto systémů obtížně určitelná. Porovnání měření materiálových parametrů pomocí různých systémů je důležité pro důvěryhodnost naměřených dat a porovnání s existujícími daty v literatuře. Po úpravě měřicího systému lze měřit obvykle i energetické materiály, tzn. látky vykazující absorpční spektrum, které jsou zajímavé např. v bezpečnostních aplikacích (THz spektroskopie na letištích, detekce nebezpečných látek apod.).

Poděkování

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu 18SIB09 TEMMT (Traceability for Electrical Measurement at Millimeter-Wave and Terahertz Frequencies for Communications and Electronics Technologies), který byl podpořen evropským programem pro výzkum a inovace (EMPIR) spolufinancovaným členskými státy EU a programem Horizon 2020 pro výzkum a inovace. Bližší detaily lze nalézt na <https://projects.lne.eu/jrp-temmt/>

Literatura

- [1] J. Baker-Jarvis et al., "Transmission/Reflection and Short-Circuit Line Methods for Measuring Permittivity and Permeability", *NIST Technical Note 1355*, květen 1992.
- [2] B. Komiyama, M. Kiyokawa, T. Matsui, "Open resonator for precision dielectric measurements in the 100 GHz band," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, roč. 39, č. 10, str. 1792–1796, 1991.
- [3] A. Kazemipour, M. Hudlička, S.-K. Yee, M. A. Salhi, D. Allal, T. Kleine-Ostmann, T. Schrader, „Design and Calibration of a Compact Quasi-optical System for Material Characterization in Millimeter/Submillimeter-Wave Domain“, *IEEE Trans. on Instrumentation and Meas.*, roč. 64, č. 6, červen 2015, str. 1438-45.
- [4] T. Tosaka, K. Fujii, K. Fukunaga, A. Kasamatsu, "Development of complex relative permittivity measurement system based on free-space in 220–330-GHz range," *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.*, roč. 5, č. 1, str. 102–109, 2015.
- [5] D. H. Auston, *Ultrafast optoelectronics* (W. Kaiser, ed.), Vol. 60, Springer, Berlin, 1988.
- [6] G. Mourou, C. V. Stancampiano, A. Antonetti, A. Orszag, „Picosecond microwave pulses generated with a subpicosecond laser-driven semiconductor switch, „ *Appl. Phys. Lett.* roč. 39, č. 4, 1981, str. 295–296.
- [7] Material Characterization Kit. Přístup: 20. 5. 2023. [Online]. Dostupné: <https://www.swissto12.com/>
- [8] J. Baker-Jarvis, E. J. Vanzura, W. A. Kissick, "Improved technique for determining complex permittivity with the transmission/reflection method," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, roč. 38, č. 8, str. 1096–1103, 1990.
- [9] A.-H. Boughriet, C. Legrand, A. Chapoton, "Noniterative stable transmission/reflection method for low-loss material complex permittivity determination," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, roč. 45, č. 1, str. 52–57, 1997.
- [10] A. Kazemipour, M. Wollensack, J. Hoffmann, M. Hudlička, S.-K. Yee, J. Ruefenacht, D. Stalder, G. Gaumann, M. Zeier, "Analytical Uncertainty Evaluation of Material Parameter Measurements at THz Frequencies," *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, roč. 41, str. 1199–1217, 2020.
- [11] Y. Wang, X. Shang, N. M. Ridler, T. Huang and W. Wu, „Characterization of Dielectric Materials at WR-15 and (50–75 GHz) Using VNA-Based Technique“, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, roč. 69, č. 7, str. 4930-4939, 2020.
- [12] Projekt "Traceability for electrical measurements at millimetre-wave and terahertz frequencies for communications (TEMMT)," [online] Dostupné: <https://projects.lne.eu/jrp-temmt/>
- [13] Y. Wang et al., „Material Measurements Using VNA-Based Material Characterization Kits Subject to Thru-Reflect-Line Calibration“, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, roč. 10, č. 5, str. 466-473, 2020.
- [14] J. Humlicek, C. Bernhard, "Diffraction effects in infrared ellipsometry of conducting samples," *Thin Solid Films*, roč. 455-456, str. 177–182, 2004.
- [15] D. Allal, U. Arz, G. Gäumann, A. Gregory, M. Hudlička, A. Kazemipour, T. Kleine-Ostmann, G. N. Phung, P. Maršik, M. Naftaly, H. Sakarya, X. Shang, D. Ulm, M. Wojciechowski, P. Zagrajek, "Report describing the comparison of material parameter measurements at millimetre-wave and THz frequencies," *EURAMET Comparison Report, 2022*, doi: [10.5281/zenodo.7442687](https://doi.org/10.5281/zenodo.7442687)



SVĚTOVÝ DEN AKREDITACE

9. červen byl vyhlášen
Mezinárodním akreditačním fórem (IAF)

a

Mezinárodním sdružením pro akreditaci laboratoří
(ILAC) jako

SVĚTOVÝ DEN AKREDITACE.

2023

Tématem pro rok 2023 je

„Akreditace: Podpora budoucnosti globálního trhu“
a jeho cílem je upozornit na to, jak se akreditace a posuzování shody přizpůsobují globálnímu obchodu, technologickému pokroku, změnám v chování spotřebitelů a regulovanému prostředí, novým mechanismům důvěry a měnícím se obchodním modelům.

Accreditation:
Supporting the Future of Global Trade



09 June 2023
#WAD2023



SOFTWARE VE ZDRAVOTNICKÝCH PROSTŘEDCÍCH Z POHLEDU NAŘÍZENÍ 2017/745/EU O ZDRAVOTNICKÝCH PROSTŘEDCÍCH (MDR)

Ing. Martin Koval Ph.D.¹, Ing. Martin Staněk²

¹Český metrologický institut

²Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT

Používání softwaru (SW) ve zdravotnictví je v praxi běžné, ale mění se vývoj SW, který je v dnešní době dynamický. Používání SW má své výhody, ale také rizika. Zavedení nových požadavků v nařízení 2017/745/EU [1] (Medical Devices Regulation – dále jen „MDR“) – může tato rizika snížit. Zmínka o SW se v MDR nachází v několika článcích; může být samostatným zdravotnickým prostředkem (SaMD - Software as Medical Device), ale také příslušenstvím zdravotnického prostředku nebo aktivním prostředkem. Je třeba vzít v úvahu také pojmy jako kompatibilita a interoperabilita.

Důležité pojmy v MDR, kde je SW uveden:

Definice

1) „zdravotnickým prostředkem“ nástroj, přístroj, zařízení, software, implantát, činidlo, materiál nebo jiný předmět určené výrobcem k použití, samostatně nebo v kombinaci, u lidí k jednomu nebo několika z těchto konkrétních léčebných účelů: ...

4) „aktivním prostředkem“ prostředek, jehož provoz závisí na zdroji energie, která není generovaná za tímto účelem lidským tělem ani gravitací, a který působí prostřednictvím změny hustoty nebo přeměny této energie. Prostředky určené k přenosu energie, látek nebo jiných prvků mezi aktivním prostředkem a pacientem bez jakékoliv významné změny se za aktivní prostředky nepovažují. **Software** se rovněž považuje za aktivní prostředek.

25) „kompatibilitou“ schopnost prostředku, **včetně softwaru**, pokud je použit spolu s jedním nebo více dalšími prostředky v souladu s jeho určeným účelem:

a) fungovat, aniž by došlo ke ztrátě nebo ohrožení schopnosti fungovat v souladu s určeným účelem, a/nebo

b) být začleněn a/ nebo provozován bez nutnosti změn nebo úpravy jakékoliv části kombinovaných prostředků, a/nebo

c) být používán společně bez střetu/interference nebo nežádoucí reakce;

26) „interoperabilitou“ schopnost dvou nebo více prostředků, **včetně softwaru**, od stejného výrobce nebo od různých výrobců:

a) vyměňovat si informace a používat vyměněné informace za účelem správného provedení konkrétní funkce, aniž by byl změněn obsah údajů, a/nebo

b) navzájem spolu komunikovat a/nebo

c) fungovat společně v souladu s určeným účelem;

Dalšími důležitými články, v nichž jsou uvedeny požadavky na SW v MDR, jsou články 14 odst. 2, článek 17 a článek 23 odst. 4 v kapitole II.

Čl. 14. odst. 2 Prostředky musí být navrženy a vyrobeny tak, aby byla odstraněna nebo na nejnižší možnou míru snížena: ...

d) rizika spojená s možnou negativní interakcí **mezi softwarem** a prostředím informačních technologií, v němž funguje a v němž dochází k interakci

Čl. 17 Elektronické programovatelné systémy – prostředky obsahující elektronické programovatelné systémy a **software**, který je prostředkem sám o sobě.

1. Prostředky obsahující elektronické programovatelné systémy, **včetně softwaru, nebo software**, který je prostředkem sám o sobě, musí být navrženy tak, aby byla zajištěna opakovatelnost, spolehlivost a účinnost v souladu s jejich určeným použitím. Při výskytu jedné závady je třeba přijmout vhodná opatření k odstranění nebo snížení následných rizik na nejnižší možnou míru nebo možnost zhoršení účinnosti.

2. U prostředků, které **obsahují software, nebo u softwaru**, který je prostředkem sám o sobě, musí být software navržen a vyroben s ohledem na nejnovější vývoj a s přihlédnutím k zásadám životního cyklu vývoje softwaru, řízení rizik, včetně bezpečnosti informací, ověřování a validace.

3. **Software** uvedený v tomto bodu, který je určen k použití v kombinaci s mobilními počítačovými platformami, musí být navržen a vyroben s ohledem na specifické vlastnosti mobilní platformy (např. velikost a kontrastní poměr obrazovky) a na vnější faktory související s jejich použitím (proměnlivé prostředí, pokud jde o úroveň světla nebo hluku).

4. Výrobce musí stanovit minimální požadavky na hardware, vlastnosti sítí informačních technologií a bezpečnostní opatření v oblasti informačních technologií, včetně ochrany proti neoprávněnému přístupu, nezbytné k **používání softwaru** v souladu se zamýšleným účelem.

Čl. 23 odst. 4 Informace v návodu k použití

Návod k použití musí obsahovat všechny tyto údaje: ...

ab) v případě prostředků obsahujících elektronické programovatelné systémy, včetně softwaru, nebo software, který je prostředkem sám o sobě, minimální požadavky na hardware, vlastnosti sítí informačních technologií a bezpečnostní opatření v oblasti informačních technologií, včetně ochrany proti neoprávněnému přístupu, nezbytné k používání softwaru v souladu se zamýšleným účelem.

Součástí každého zdravotnického prostředku je technická dokumentace, kde jsou v příloze II uvedeny informace o tom, co by v dokumentaci k SW nemělo chybět.

1. POPIS A SPECIFIKACE PROSTŘEDKU, VČETNĚ JEHO VARIANT A PŘÍSLUŠENSTVÍ

1.1. Popis a specifikace prostředku

j) celkový popis základních funkčních prvků, např. jeho částí / součástí (**případně včetně softwaru**), jeho tvaru, složení, funkčnosti a případně jeho kvalitativního a kvantitativního složení. Kde je to vhodné, musí zahrnovat obrazová znázornění (např. schémata, fotografie a nákresy), zřetelně

zobrazující zásadní části / součásti, včetně vysvětlení dostatečného pro pochopení nákresů a schémat;

6. OVĚŘOVÁNÍ A VALIDACE VÝROBKU

1.1. Popis a specifikace prostředku

– **ověření a validace softwaru** (popis návrhu softwaru a jeho vývojového procesu a doklad o validaci softwaru v podobě, v jaké je použit v konečném prostředku. Tyto informace běžně zahrnují souhrnné výsledky veškerého ověřování, validace a zkoušek provedených interně i v simulovaném nebo skutečném prostředí uživatele před konečným propuštěním. Rovněž se týkají všech různých konfigurací hardwaru a případně operačních systémů uvedených v informacích dodaných výrobcem);

Dále jsou relevantní požadavky na SW v MDR, které jsou uvedeny v oddíle C přílohy VI a týkají se systému jedinečné identifikace prostředku (dále jen „UDI“):

1. Definice

Mezi různé typy UDI-PI patří sériové číslo, číslo šarže, **identifikace softwaru** a datum výroby či použitelnosti nebo obě data.

3. UDI

3.5. Pokud je na označení uvedeno číslo šarže, sériové číslo, **identifikace softwaru** nebo datum použitelnosti, musí být součástí UDI-PI. Pokud je na označení uvedeno rovněž datum výroby, nemusí být do UDI-PI zahrnuto. Pokud je na označení uvedeno pouze datum výroby, musí se toto datum použít jako UDI-PI.

6.5. Software prostředků

6.5.1. Kritéria pro přidělování UDI

UDI musí být přidělován na systémové úrovni softwaru. Tento požadavek se vztahuje pouze na **software**, který je samostatně komerčně dostupný, a **na software**, který sám o sobě představuje prostředek. Identifikace **softwaru** se považuje za mechanismus výrobní kontroly a musí být uvedena v rámci UDI-PI.

6.5.2. Nový UDI-DI je zapotřebí pokaždé, když dojde ke změně, kterou se mění:..

b) bezpečnost nebo určené použití softwaru,

Mezi tyto změny patří nové nebo pozměněné algoritmy, databázové struktury, provozní platforma, struktura nebo nová uživatelská rozhraní či nové možnosti interoperability.

6.5. Software prostředků

6.5.3. Pro menší revizi **softwaru** je zapotřebí pouze nový UDI-PI, a nikoliv nový UDI-DI.

Menší **revize softwaru** obvykle souvisejí s opravami programových chyb, zlepšeními použitelnosti, která nejsou pro bezpečnostní účely, bezpečnostními záplatami nebo provozní účinností. Menší **revize softwaru** musí být identifikovány formou identifikace specifické pro daného výrobce.

6.5.4. Kritéria pro umístování UDI v případě softwaru

a) Je-li **software** dodán na fyzickém médiu jako např. na CD nebo DVD, musí být každá úroveň balení opatřena zobrazením úplné jedinečné identifikace prostředku ve formátu

čitelném pro člověka a ve formě AIDC. UDI, který je použit na fyzické médium obsahující software a na jeho obal, se shoduje s UDI přiděleným **softwaru** systémové úrovně;

b) UDI musí být uživateli poskytnut na snadno dostupné obrazovce ve snadno čitelném formátu v podobě prostého textu, jako například v souboru s „informacemi o prostředku“ nebo na startovací obrazovce (tzv. start-up screen);

c) **software** bez uživatelského rozhraní, jako například middleware pro konverzi obrazových souborů, musí být schopen přenášet UDI prostřednictvím rozhraní pro programování aplikací (API);

d) na elektronických displejích **softwaru** je nutno uvádět pouze část UDI, která je ve formátu čitelném pro člověka. Označení UDI za využívající AIDC není nutné uvádět na elektronických displejích, jako například menu s informacemi o programu, uvítací obrazovka (tzv. splash screen) atd.;

e) pro člověka čitelný formát UDI pro **software** zahrnuje identifikátory aplikace (AI) pro normy použité vydávajícími subjekty, aby se tak uživateli napomohlo při identifikaci UDI a při určování toho, která norma se k vytvoření UDI používá.

Pro klasifikaci SW v MDR je nutné dodržovat pravidla klasifikace uvedená v příloze VIII:

KAPITOLA II – PROVÁDĚCÍ PRAVIDLA

3.3. Software, který řídí prostředek nebo ovlivňuje použití prostředku, spadá do téže třídy jako dotčený prostředek. Pokud je software nezávislý na jakémkoliv jiném prostředku, klasifikuje se samostatně.

KAPITOLA III – KLASIFIKAČNÍ PRAVIDLA

6.3. Pravidlo 11

Software, s jehož pomocí jsou získávány informace, které slouží při rozhodování o diagnostických nebo terapeutických otázkách, je klasifikován jako třída IIa, s výjimkou případů, kdy tato rozhodnutí mohou mít za následek:

- smrt nebo nevratné zhoršení zdravotního stavu osoby; v takovém případě spadá do třídy III; nebo
- vážné zhoršení zdravotního stavu osoby nebo chirurgický zákrok; v takovém případě je klasifikován jako třída IIb.

Software, s jehož pomocí se monitorují fyziologické procesy, je klasifikován jako třída IIa, s výjimkou případů, kdy se mají s jeho pomocí monitorovat životně důležité fyziologické parametry, jestliže je povaha změn těchto parametrů taková, že by mohlo dojít k bezprostřednímu ohrožení pacienta; v takovém případě je klasifikován jako třída IIb. Všechny ostatní **softwaru** jsou klasifikovány jako třída I.

Požadavky na klinické hodnocení SW v MDR jsou uvedeny v příloze XIV Klinické hodnocení a klinické sledování po uvedení na trh.

3. Klinické hodnocení může být založeno na klinických údajích týkajících se prostředku, pouze pokud u něho lze prokázat rovnocennost s dotčeným prostředkem. Při prokazování rovnocennosti se zohlední tyto technické, biologické a klinické vlastnosti:

– *Technické: prostředek má podobný návrh; používá se za podobných podmínek použití; má podobné specifikace a vlastnosti včetně fyzikálně-chemických vlastností, jako jsou intenzita energie, pevnost v tahu, viskozita, povrchové vlastnosti, vlnová délka a softwarové algoritmy; případně uplatňuje podobné metody použití; má podobné zásady fungování a požadavky na kritickou účinnost.*

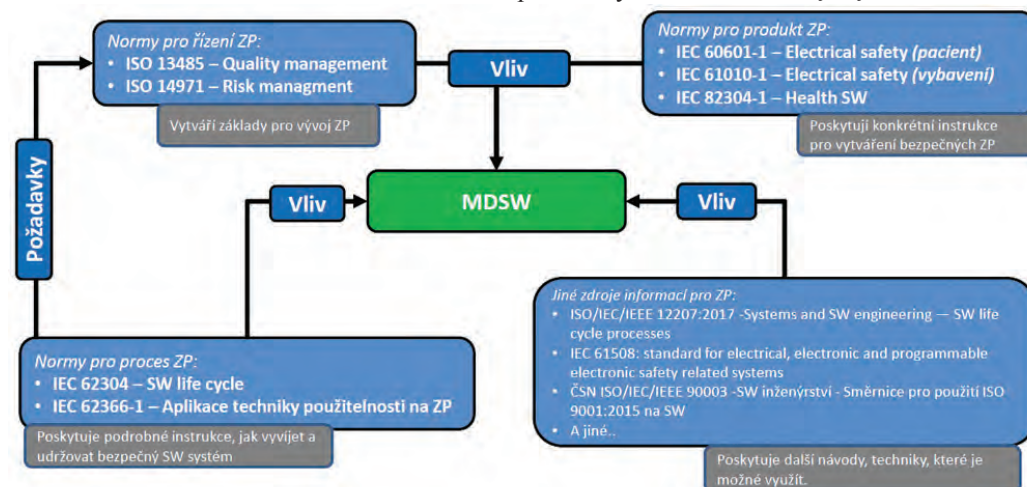
Ve výše uvedených člancích v MDR je uvedeno slovo „software“, je však třeba vzít v úvahu celé znění MDR. Pro lepší pochopení požadavků na zdravotnické prostředky v MDR byly vytvořeny podpůrné dokumenty MDCG [2], které jsou průběžně aktualizovány. Následující dokumenty MDCG jsou relevantní pro SW v zdravotnických prostředcích:

- MDCG 2020-1: Guidance on clinical evaluation (MDR),
- MDCG 2019-16 rev.1: Guidance on cybersecurity for medical devices,
- MDCG 2019-11: Qualification and classification of software - Regulation (EU) 2017/745,
- MDCG 2018-5: UDI assignment to medical device software.

Požadavky na SW v zdravotnických prostředcích (Medical Device Software – dále „MDSW“) lze splnit pomocí harmonizovaných norem, vydaných v souladu s nařízením EU č. 1025/2012 o evropské normalizaci [4]. Jednou z významných norem, která se zabývá požadavky na SW zdravotnických prostředků, je norma EN 62304:2006+A1:2015 Software zdravotnických prostředků – Procesy v životním cyklu softwaru (dále jen „ČSN EN 62304+A1“) [3]. Norma je rozdělena do následujících oddílů:

- odkaz na normativní dokumenty,
- terminologie a definice,
- základní požadavky,
- proces vývoje SW,
- proces údržby SW,
- proces řízení rizik,
- proces konfigurace SW,
- proces řešení problémů SW.

Pro plnění požadavků ČSN EN 62304+A1 je důležitá norma ČSN EN ISO 14971:2020 Zdravotnické prostředky –



Obr. 1: Schéma použití různých norem pro plnění požadavků na MDSW [3]

Aplikace řízení rizik na zdravotnické prostředky (dále jen „ČSN EN ISO 14971“). Následující schéma ukazuje možnosti využití norem pro splnění požadavků na MDSW.

Je vhodné kombinovat normy pro řízení, procesy, produkt a další samostatné normy, které se zaměřují na specifické vlastnosti zdravotnického prostředku.

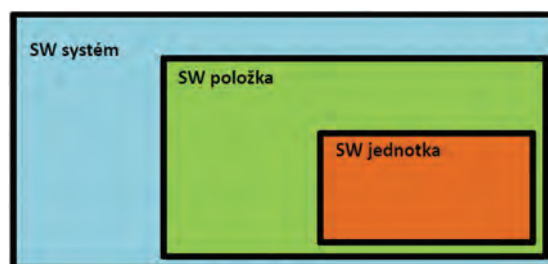
Terminologie a definice

Většina norem obsahuje kapitolu, která se zabývá vysvětlením důležitých termínů použitých v normě. Následující vybrané termíny jsou důležité pro pochopení normy a základních souvislostí:

SW systém – integrovaný soubor SW položek uspořádaných tak, aby plnily určitou funkci nebo soubor funkcí.

SW položka – Jakákoli identifikovatelná část počítačového programu (např. zdrojový kód, objektový kód, datové sady atd.).

SW jednotka – SW položka, která není rozdělena na další položky. Nejnižší dělení závisí na výrobci.



Obr. 2: Interpretace začlenění SW jednotek a SW položek do SW systému

Software zdravotnického prostředku (MDSW) – softwarový systém, který byl vyvinut pro začlenění do vyvíjeného prostředku nebo je určen pro jeho použití.

SOUP: SW neznámého původu – SW položka, která je již vyvinutá a obecně dostupná a která nebyla vyvinuta pro začlenění do ZP (používá se také „běžný SW“) nebo dříve vyvinutý SW, pro který neexistují odpovídající záznamy o procesu vývoje SW.

Starší SW – MDSW, který byl legálně uveden na trh, je stále uváděn na trh, ale pro který neexistuje dostatečný objektivní důkaz, že byl vyvinut v souladu s aktuální verzí ČSN EN 62304.

Základní požadavky

Norma ČSN EN 62304+A1 obsahuje čtyři kapitoly obsahující základní požadavky:

- Systém managementu kvality (QMS Quality management system),
- Řízení rizik (Risk management),
- Klasifikace bezpečnosti SW (SSC SW Safety Classification),
- Starší SW (Legacy SW).

Výrobce MDSW musí prokázat, že schopnost MDSW splňuje požadavky zákazníka a příslušných regulačních orgánů. To lze prokázat pomocí normy ČSN EN ISO 13485 Zdravotnické prostředky – Systémy managementu kvality – Požadavky pro účely předpisů. Dále musí výrobce uplatňovat postup řízení rizik v souladu s ČSN EN ISO 14971. Cílem je snížit pravděpodobnost, že dojde k narušení funkce zdravotnického prostředku a že selhání zdravotnického prostředku přispěje k nebezpečné situaci.

Platí jednoduchý vzorec $P_o = P_1 \times P_2$, kde:

P_o = pravděpodobnost vzniku škody

P_1 = pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace

P_2 = pravděpodobnost vzniku nebezpečné situace vedoucí k poškození.

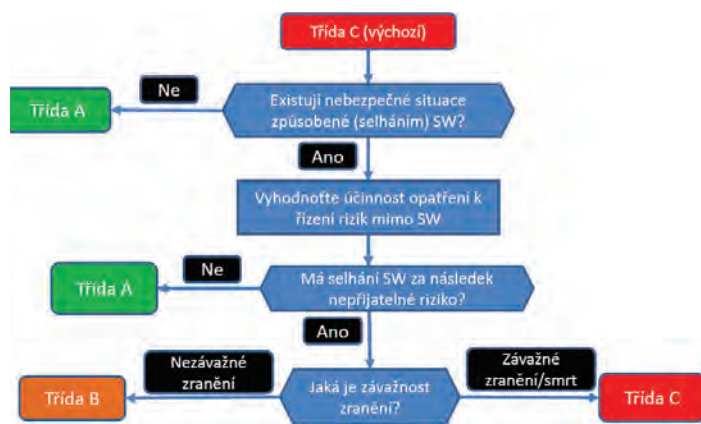
Norma ČSN EN 62304 rozděluje SW z hlediska bezpečnosti do tří tříd A, B a C.

A - SW systém, který nemůže přispět k nebezpečné situaci, nebo SW systém, který může přispět k nebezpečné situaci, která po zvážení opatření pro SW systém nevede k nepřijatelnému riziku.

B - SW systém, který může přispět k nebezpečné situaci, která vede k nepřijatelnému riziku, a po zvážení opatření pro SW systém je možným výsledkem poškození charakterizované jako nezávažné zranění.

C - SW systém, který může přispět k nebezpečné situaci, jež má za následek nepřijatelné riziko, a po zvážení opatření na SW systému je možným výsledkem vážné poškození, zranění nebo smrt.

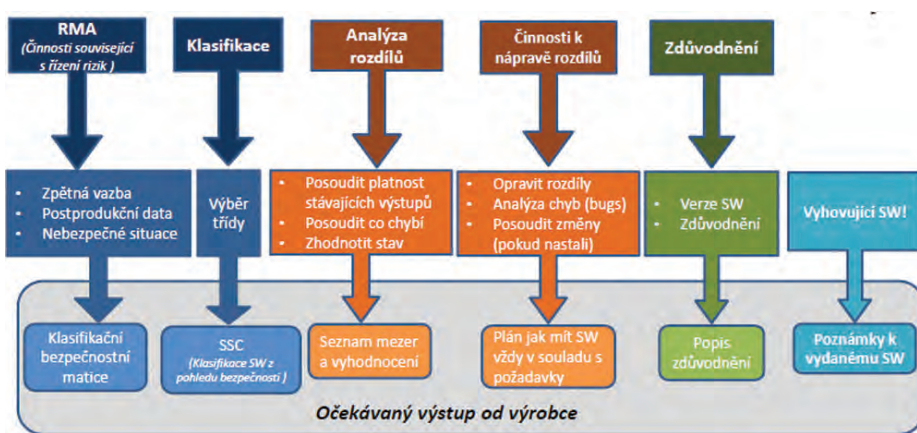
Pokud výrobce zvolí jinou třídu než C, musí to dostatečně zdůvodnit a měl by postupovat podle níže uvedeného schématu.



Obr. 3: Schéma klasifikace SW z hlediska bezpečnosti podle ČSN EN 62304+A1

Pokud chce výrobce použít starší SW, pak musí:

- vyhodnotit veškerou zpětnou vazbu, včetně postprodukčních informací týkajících se staršího SW a incidentů z vlastní organizace a od uživatelů



Obr. 4: Očekávaný výstup, pokud chce výrobce použít starší SW v MDSW

- provést činnosti související s řízením rizik související s používáním staršího SW. Dále musí provést klasifikaci, analýzu rozdílů, v případě identifikovaných rozdílů musí provést činnosti k nápravě rozdílů a zdůvodnit, proč chce starší SW používat.

Proces vývoje MDSW

Proces vývoje SW lze rozdělit dle ČSN EN 62304 na plánování, implementaci, testování a hodnocení. Do části plánování můžeme zařadit:

- plánování vývoje MDSW
 - analýzu požadavků na MDSW
 - návrh architektury MDSW.
- Do sekcí implementace, testování a vyhodnocování patří:
- podrobný návrh SW
 - implementace a ověření SW jednotek
 - integrace SW a testování integrace SW
 - testování SW systému
 - vydání SW.

V rámci procesu plánování vývoje SW musí výrobce vypracovat plán (nebo plány) vývoje SW, který by měl obsahovat:

- seznam procesů, které musí být použity při vývoji SW systému
- seznam výstupů činností a úkolů
- výsledovatelnost implementace v SW mezi systémovými požadavky, opatřeními pro řízení rizik, požadavky na SW a testováním SW systému
- řízení konfigurace, změny konfigurace včetně položek SOUP a SW použitého pro podporu plánu vývoje
- popis řešení problémů identifikovaných v MDSW, výstupy a činnosti v jednotlivých fázích životního cyklu MDSW
- procesy integrace SW položek včetně SOUP a testování integrace
- plán ověření MDSW, včetně všech výstupů, činností, klíčových bodů, které je třeba ověřit, a vysvětlit kritéria přijatelnosti pro ověření výstupů
- plány činností spojených s procesem řízení rizik
- plán tvorby dokumentace, aby bylo jasné, které dokumenty mají být během životního cyklu MDSW vytvořeny
- plán kontroly konfiguračních SW položek.

Výrobce musí tento plán aktualizovat a udržovat po celou dobu životnosti MDSW. V referencích plánu vývoje SW musí být uvedeny vstupy, které vycházejí ze systémových požadavků, a vypracované postupy nebo odkaz na postupy pro koordinaci vývoje SW.

Dále výrobce musí pro každý MDSW definovat a dokumentovat systémové požadavky na SW systém na základě systémových požadavků. Jednotlivé požadavky by měly pokrývat:

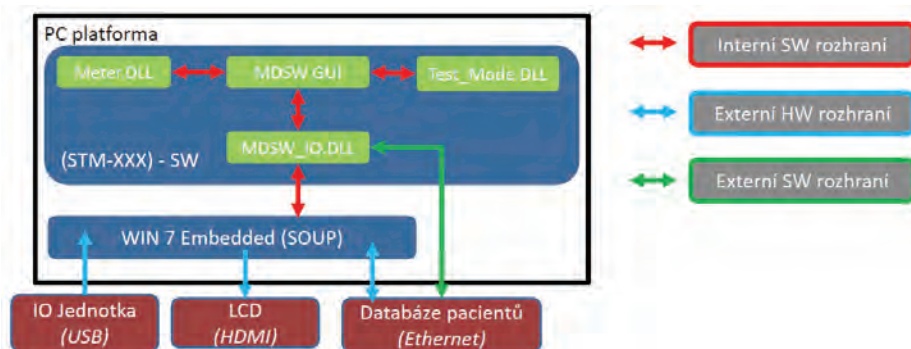
- funkce a schopnosti MDSW
- vstupy a výstupy SW systému
- rozhraní mezi SW systémem a ostatními systémy
- alarmy, výstrahy, varování, zprávy pro obsluhu
- požadavky na bezpečnost
- požadavky na uživatelské rozhraní
- požadavky na definici dat a databázi
- požadavky na instalaci, předání a údržbu MDSW
- požadavky na síťové aspekty IT
- požadavky na údržbu ze strany uživatelů
- regulační požadavky.

Výrobce ověří a zdokumentuje, že požadavky na MDSW mají implementované systémové požadavky, že si vzájemně neodporují, že jsou použity jednoznačné termíny, že jsou použita testovací kritéria, že lze jednoznačně identifikovat a že jsou dohledatelné.

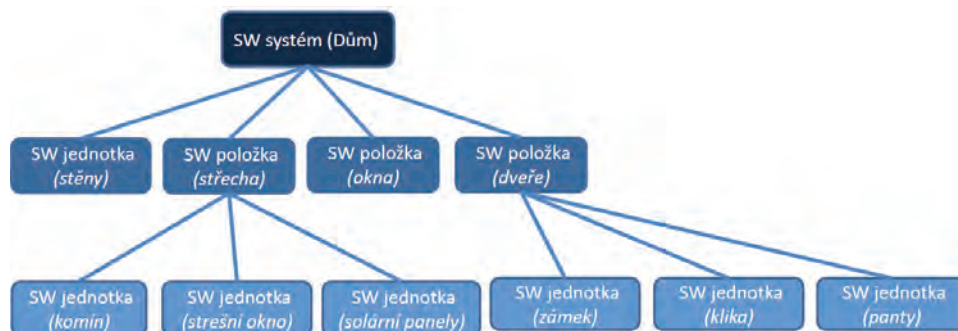
Při návrhu architektury by měl výrobce zohlednit tři základní aspekty – bezpečnost, návrh a údržbu, přičemž bezpečnost musí být na prvním místě.



Obr. 5: Základní aspekty návrhu architektury MDSW



Obr. 6: Příklad návrhu primitivní architektury pro SW a HW rozhraní



Obr. 7: Příklad integrace SW položek

Musí být jasné, jak jsou jednotlivé požadavky zahrnuty do architektury MDSW, popsána struktura MDSW a identifikovány jednotlivé položky SW. Neměla by chybět architektura pro různá rozhraní mezi SW a HW rozhraními, přičemž je vhodné rozlišovat mezi interními a externími SW/HW rozhraními obr. 6.

Pokud je to nezbytné (např. v případech třídy C dle ČSN EN 62304), musí výrobce určit jakákoli oddělení mezi položkami SW, která jsou nezbytná pro řízení rizik, a uvést, jak jsou taková oddělení zajištěna. Výrobce musí ověřit architekturu a uvést v dokumentaci, že:

- požadavky na systém a SW, včetně požadavků na řízení rizik, jsou implementovány do architektury SW
- SW architektura je schopna podporovat rozhraní mezi SW položkami a mezi SW položkami a HW položkami
- architektura MDSW podporuje odpovídající funkce všech položek SOUP.

Podrobný návrh MDSW je potřebný i v případech, kdy je SW systém rozdělen na SW položky a SW jednotky. V takových případech musí výrobce zdokumentovat návrh, který umožňuje správnou implementaci každé SW jednotky, a ověřit, že architektura MDSW je správně implementována až na úroveň SW jednotky a že architektura není v rozporu s požadavky MDSW. Výrobce MDSW je odpovědný za zajištění implementace každé SW jednotky a za stanovení zásad, metod a postupů pro ověřování SW jednotek. Zde mohou být činnosti, jako je peer review, testování SW jednotek, statická kontrola zdrojového kódu a podobně. Pro implementaci SW jednotek musí výrobce také stanovit příslušná akceptační kritéria pro integraci do SW položek a zajistit, aby SW jednotky tato akceptační kritéria splňovaly. Akceptační kritéria mohou zahrnovat například:

- správné pořadí sekvencí
- plánování přidělování zdrojů
- zpracování chyb
- automatickou diagnostiku
- inicializaci proměnných
- a další.

Po ověření SW jednotek musí výrobce zdokumentovat výsledky. Dalším krokem je integrace SW jednotek. Pro lepší pochopení je na obr. 7 uveden příklad domu.

Uvažujeme-li, že dům je SW systém, pak k jeho správné funkci jsou

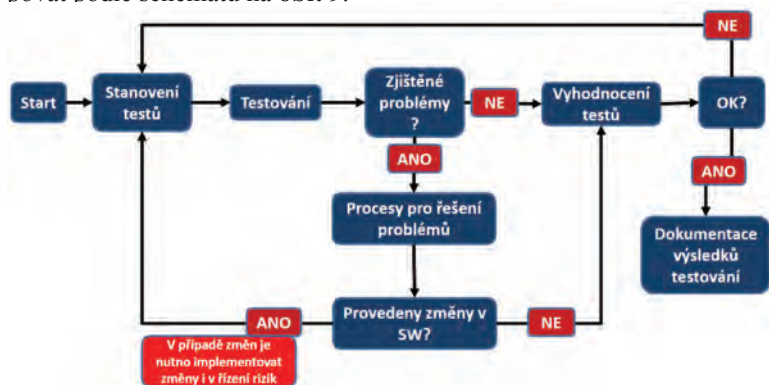
zapotřebí stěny, střecha, okna a dveře, které lze definovat jako SW položky. Aby dveře správně fungovaly, musí mít zámek, kliku a panty, které můžeme definovat jako SW jednotky. V případě integrace SW jednotek nejsou stěny a okna předmětem integrace, protože se dále nedělí. Cílem integrace je, aby SW prvek správně fungoval, pokud se skládá ze SW jednotek. Výrobce ověří správnost integrace a vyzkouší integraci SW položek podle plánu a zdokumentuje výsledky. Obdobně je tomu i v případě integrace a testování SW systému. Výrobce musí integrovat SW položky do SW systému a testováním ověřit, že SW položka funguje správně. V případě testování musí výrobce vyhodnotit vhodnost testů pro integraci a prokázat jejich vhodnost. Výrobce musí provést regresní testování, aby se ujistil, že během integrace nebo dříve integrovaného MDSW nedošlo k žádným chybám. Záznamy o testech by měly obsahovat:

- výsledky testů (vyhověl/nevyhověl/anomalie)
- dostatečné záznamy pro opakované provedení testů
- identifikaci testera.

Pokud dojde během testování ke změně SW systému, musí výrobce:

- opakovat testy, upravit testy nebo provést příslušné dodatečné testy, ověřit účinnost testů a provést změny k odstranění problémů
- provést příslušné testy, aby prokázal, že nedošlo k nežádoucím vedlejším účinkům
- provést relevantní činnosti pro řízení rizik.

Výrobce MDSW by měl při testování SW systému postupovat podle schématu na obr. 9.



Obr. 8: Schéma pro testování SW systému

Po testování následuje vydání MDSW. Výrobce musí zajistit, aby byly dokončeny a zdokumentovány všechny činnosti spojené s ověřováním, plánováním a testováním MDSW. Musí být rovněž zdokumentovány všechny zjištěné zbytkové anomálie a jejich posouzení, že nepřispívají k nepřijatelnému riziku. Musí být zdokumentovány všechny verze MDSW, postupy a prostředí, které byly použity k vytvoření MDSW. Výrobce musí po uvolnění archivovat uvolněný MDSW s konfiguračními položkami a kompletní dokumentací. Výrobce musí také zajistit spolehlivé dodání MDSW, kde nesmí chybět identifikace, balení, ochrana, skladování a doručení.

Proces údržby MDSW

Proces údržby je důležitý z následujících důvodů:

- SW není nikdy dokonalý
- nikdo nemůže zaručit, že se MDSW bude po dodání chovat přesně tak, jak má
- pomáhá udržet MDSW bezpečný.

Výrobce musí mít vypracované plány údržby, které musí zahrnovat činnosti pro:

- přijímání hlášení
- dokumentaci
- vyhodnocování hlášení
- řešení hlášení
- sledování MDSW a zpětnou vazbu po vydání MDSW.

Postupy pro:

- kritéria pro posuzování zpětné vazby/hlášení a určení, zda se jedná o problém
- používání procesu řízení rizik
- používání procesu řešení problémů MDSW k analýze a řešení problémů vzniklých po vydání MDSW
- používání procesů řízení konfigurace MDSW pro změny stávajícího MDSW
- hodnocení a implementaci SOUP
- kybernetickou bezpečnost.

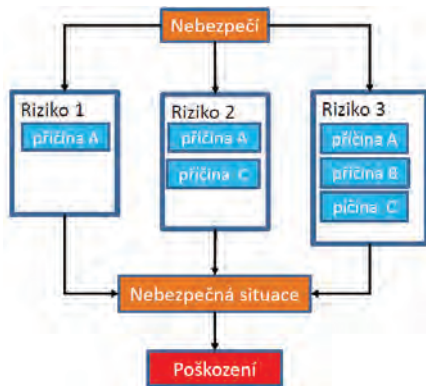
V případě, že je zpětná vazba vyhodnocena jako problém, musí dodavatel zdokumentovat a uchovávat každou zpětnou vazbu spolu s vyhodnocením, aby bylo možné určit, jak významný je problém v MDSW. Pokud je problém závažný a je nutná změna MDSW, musí být vytvořena žádost o změnu MDSW. Tyto žádosti musí být vyhodnoceny a schváleny výrobcem a následně komunikovány s regulačními orgány, aby byly identifikovány problémy MDSW, které se objevily, a důsledky v případě dalšího používání bez změny MDSW. V případě modifikace MDSW musí výrobce provést všechny činnosti pro správné fungování MDSW, jako je ověřování, testování, integrační analýza požadavků pro MDSW nebo změna plánu vývoje, případně změna třídy.

Proces řízení rizik

V procesu řízení rizik je prvním krokem analýza MDSW a jeho příspěvku k nebezpečným situacím. Výrobce musí identifikovat položky SW, které by mohly přispívat k nebezpečným situacím, které jsou identifikovány v analýze rizik SW podle ČSN EN ISO 14971. Nebezpečná situace může být přímým důsledkem selhání MDSW nebo důsledkem selhání opatření k řízení rizik implementovaných v MDSW. Výrobce musí identifikovat potenciální příčiny položek SW, které přispívají k nebezpečné situaci, včetně:

- nesprávné nebo neúplné specifikace funkcí
- SW defektů ve funkčnosti SW položky
- selhání nebo neočekávaného chování SOUP
- HW poruchy nebo jiné SW vady, které mohou mít za následek nepředvídatelného chování SW
- rozumně předvídatelné zneužití.

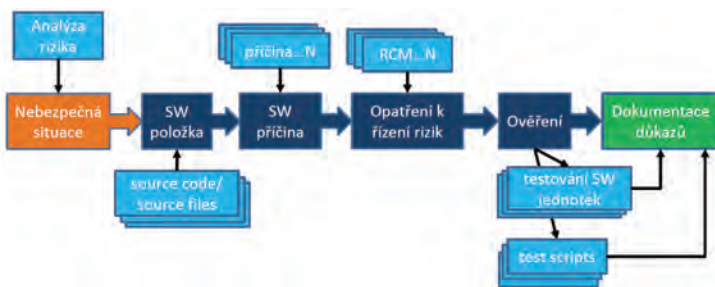
Výrobce se musí zaměřit také na možné kombinace potenciálních příčin a jejich důsledky.



Obr. 9: Příklad kombinace možných příčin nebezpečné situace

Mezi nejčastější příčiny patří například alarmy a výstrahy, kritické podmínky napájecího cyklu, kritické uživatelské ovládací prvky (použitelnost), displej, HW ovládací prvky, monitorování, rozhraní, data, diagnostika, zabezpečení, výkon, SOUP nebo možnost neoprávněného použití. Výrobce musí mít k dispozici dokumentaci řízení rizik podle ČSN EN ISO 14971, ve které jsou uvedeny všechny položky SW, které mohou přispět k nebezpečné situaci, spolu s přiřazenou třídou dle ČSN EN 62304. Každé provedení opatření k řízení rizik musí být ověřeno a zdokumentováno. Výrobce musí dokumentaci připravit tak, aby bylo možné nebezpečnou situaci vysledovat z hlediska MDSW:

- od nebezpečné situace k položce SW
- od SW položky ke konkrétní SW příčině
- od příčiny SW k opatření k řízení rizik
- od opatření k řízení rizik k ověření opatření k řízení rizik.



Obr. 10: Příklad procesu dokumentace pro vysledovatelnost nebezpečné situace podle řízení rizik

V případě změn MDSW musí výrobce provést analýzu změn a určit, zda se (ne)objevily další možné příčiny, a provést opětovnou analýzu rizik.

Proces řízení konfigurace SW

Výrobce musí zavést jasný systém identifikace konfiguračních položek a jejich verzí. Konfigurační položkou může být jakákoli činnost nezbytná pro vytvoření MDSW (např. dokumentace, zdrojový kód, plán, postup, proces, SOUP, požadavky na MDSW apod.).

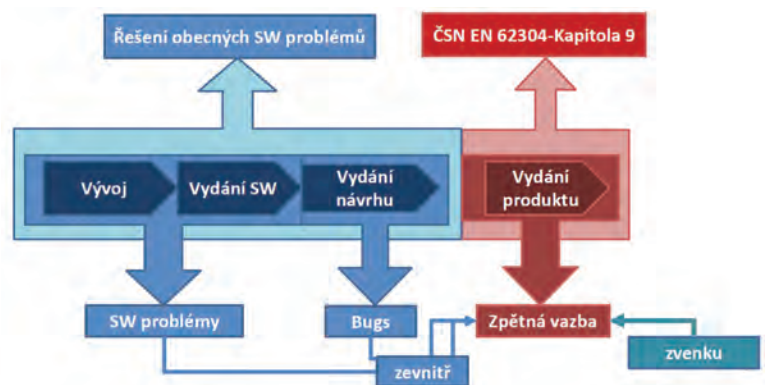
Evidence stavu konfigurace	Vydání 1	Vydání 2	Vydání X	Konfigurace systému
Plán vývoje SW	Rev 001	Rev 001	Rev 002	
Zdrojový kód	Rev 001	Rev 002	Rev 002	
SW požadavky	Rev 002	Rev 003	Rev 003	
SOUP	Rev 004	Rev 004	Rev 004	
Dokument abc	Rev 003	Rev 003	Rev 004	

Obr.11: Příklad konfigurační matice jako systému pro identifikaci konfiguračních položek

Výrobce může měnit konfigurační položky pouze po schválení žádosti o změnu, zároveň musí vzít v úvahu, že jakákoli změna konfigurační položky může ovlivnit funkčnost MDSW, změnit bezpečnostní třídu, což znamená opětovnou analýzu rizik. Výrobce musí zajistit aktuálnost dokumentace.

Postup řešení problémů MDSW

Problémy vznikají v průběhu celého životního cyklu MDSW. ČSN EN 62304+A1 proto v každé příslušné kapitole uvažuje o řešení problémů.



Obr.12: Výskyt problémů během životního cyklu MDSW

Výrobce proto musí mít k dispozici postup pro řešení problémů, který zahrnuje postup pro vypracování zprávy o problému, vysvětlení závažnosti problému a další informace, které mohou pomoci při řešení problému což obnáší:

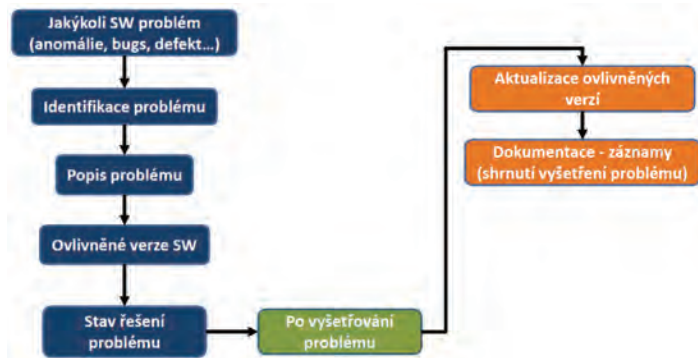
- vyšetřit problém (pokud je to možné) a určit jeho příčinu
- vyhodnotit problém z hlediska bezpečnosti pomocí procesu řízení rizik MDSW
- zdokumentovat výsledek přezkoumání a vyhodnocení problému
- vypracovat požadavky na změnu opatření potřebných k nápravě problému nebo zdokumentovat důvody, proč nebude přijato žádné nápravné opatření.

Výrobce musí informovat všechny příslušné strany o výskytu problému, zajistit a ověřit, zda:

- problém byl vyřešen a zpráva o problému uzavřena
- zjištěné nepříznivé trendy byly opraveny

- byly provedeny požadavky na změnu
- byly zjištěny další problémy.

Předchozí body týkající se zpracování řešení problému lze graficky znázornit pomocí vývojového schématu.



Obr.13: Schéma pro zpracování řešení problému

Závěr

Z výše uvedeného textu vyplývá, že problematika MDSW má v oblasti zdravotnických prostředků významné místo, a to zejména v době, kdy SW hraje významnou roli a jeho vývoj je nesmírně dynamický. Výrobce na sebe bere velkou odpovědnost, kdy musí navrhnout MDSW tak, aby splňoval svůj účel a zároveň byl co nejbezpečnější, to znamená provést analýzu rizik. Výrobce se také musí zabývat MDSW po celou dobu jeho životního cyklu, jak je uvedeno v MDR a dále vysvětleno v ČSN EN 62304.

Použitá literatura:

- [1] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 2017/745 o zdravotnických prostředcích
- [2] MDCG dokumenty, https://health.ec.europa.eu/medical-devices-sector/new-regulations/guidance-mdcg-endorsed-documents-and-other-guidance_en
- [3] ČSN EN 62304:2006+A1:2015 Softwaré lékařských prostředků – Procesy v životním cyklu softwaru
- [4] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 1025/2012 o evropské normalizaci



SLUNEČNÍ HODINY V OBCI DOBŘÍV U ROKYCAN – zajímavá metrologická památka

Ing. František Hnízdil

Česká metrologická společnost

Dobřív je malá obec vedle Hrádku u Rokycan. Malá, ale plná památek, a zvláště těch technických. Celé široké okolí bylo kolem osmnáctého století plné železářských pecí a hamrů na zpracovávání jejich produktů. Takové Kladensko století dvacátého. Dnes většinu tohoto průmyslového dění opět pohltila příroda. Je tu krásně a to, co zbylo z dřívějšíka, stojí za to si prohlédnout. Nejvýznamnější technickou památkou v Dobřívu je vodní hamr, dosud funkční. Stojí na říčce Klabavě. Nás však zajímá nenápadný podstavec pod sochou svatého Jana Nepomuckého, stojící před mostem klenoucím



Švédský most v obci Dobřív na Rokycansku

se přes Klabavu jen několik stovek metrů po proudu potoka pod hamrem.

Čím je podstavec pod sochou tak zajímavý? Jsou na něm totiž velmi zajímavé, i když velmi nenápadné, sluneční hodiny. Většina lidí, kteří podle Klabavy kráčejí navštívit hamr, si jich ani nevšimne. Může to být i proto, že přímo před mostem stojí stará, zčásti roubená Stará hospoda, jež v tu chvíli je pro turistu svojí nabídkou určitě přitažlivější.

Most se jmenuje Švédský. Prý po něm za třicetileté války vozili formani koule do švédských kanonů, vyrobené ve zdejších dílnách. Mimochodem, vyrobit koule do děla bylo také velmi obtížné, a přesné měření bylo při té technologii nezbytné.

Socha stojí poněkud stranou mimo most. Proč?

Kdyby totiž byla postavena přímo na mostě proti soše svatého Barbory, nebylo by možné podstavec obhlížet ze všech stran, což by znesnadnilo odečítání času ze slunečních hodin, zvláště brzo ráno a navečer. Před mostem by zase překážela provozu, a tak její umístění je skoro jediné možné. Také její orientace šikmo k ose mostu není náhodná – přední strana podstavce sochy svatého Jana Nepomuckého musí být nasměrována přesně na jih. Tyhle sluneční hodiny jsou totiž čtyřdílné a směřují nejen na jih, ale také na východ, západ, a dokonce i k severu. Jsou ovinuty kolem celého podstavce. Mají proto vlastnost, která je dělá tak zajímavými. Pokud právě svítí slunce a to se, bohužel, při naší návštěvě nepříhodilo, ukazují přesný čas, od slunce východu až do slunce západu, a to po celý rok.



Socha sv. Jana Nepomuckého před Švédským mostem

U svislých slunečních hodin totiž v létě slunce vychází za svislou čelní stěnou hodin a večer zapadá opět za rovinu jižní strany hodin. Na to, aby se stín mohl pohybovat od jarní rovnodennosti do rovnodennosti podzimní, musí mít právě tyto čtyři ciferníky. Jižní ciferník je základní. Východní ciferník, na rovině kolmé k jižní, slouží pro časy od východu slunce cca do 11 hodin dopoledne. Západní ciferník, který slouží pro odpolední hodiny od zhruba 14 hodiny do dvacáté hodiny večerní, je umístěn na stěně, jejíž rovina je s rovinou východních hodin rovnoběžná. Pro dobu svítání a soumraku pak slouží zadní část slunečních hodin na stěně severní.

Aby slunce ukazovalo na takových hodinách čas, musí být pochopitelně nad obzorem. Proto fungují dobřívské sluneční hodiny v celém svém rozsahu jen na konci června a začátkem července. Od září do března si vystačí zařízení jen se stranou jižní, doplňovanou ciferníky východním a západním.

Běžné jednoduché sluneční hodiny se mohou zkaliťbrotvat prostým porovnáním vrženého stínu s přesnými hodinkami, ale pokud mají ukazovat některé další časoměrné informace, kalendářní údaje a podobně, je zapotřebí poměrně značných vědomostí a matematických výpočtů, které neznámý autor pravděpodobně musel mít, byť se předpokládá, že doba vzniku tohoto zařízení byla někdy kolem roku 1654. Například uložení časoměrné tyčinky na bočních (východních a západních) hodinách musí mít orientaci související s jejich zeměpisnou polohou. Svátý Jan Nepomucký ochraňuje tyto hodiny na $13^{\circ}41'02''$ v. d. a $49^{\circ}42'55''$ s. š.



Jižní ciferník slunečních hodin na soklu sochy sv. Jana Nepomuckého



Severní (zadní část) slunečních hodin



Východní strana hodin



Západní strana hodin

Nechci a nebudu se pouštět do matematiky slunečních hodin, protože smysl tohoto sdělení tkví především v metrologické historii a podnětu k návštěvě tohoto krásného místa. Také autor tohoto zařízení vytvořil zajímavé hodiny ukazující v podstatě jen čas, a všechny další možnosti zobrazení kalendářových a astronomických dat vynechal.

Původně na podstavci s hodinami byl umístěn jen kříž. Socha sv. Jana z Nepomuku jej vystřídala až nákladem šichtmistra zdejších hutí Matouše Čapka, jak hlásá latinský nápis na podstavci sochy, v němž je zakomponován i chronogram udávající datum vyzvednutí sochy, který je však trochu zkomolený. Nápis zní MATHIAI CZAPEK EXPENSIS AEDIFICATA IHS, což lze volně přeložit jako zbudováno nákladem Matouše Čapka. Vlastní chronogram je chybně vytvořen, protože v něm nejsou zvýrazněna všechna písmena I, V, X L, C, D a M.

Nezvýraznění písmena C tím nerozliší rok 1820 od 1720. Matouš Čapek žil v obci Dobřív kolem roku 1720, takže rok 1720 může být tím správným. Navíc, kdyby se upravilo slovo MATHIAEI na správné MAT(T)HAEI, byl by chronogram ještě o rok starší (1719).

Na konci minulého století byl stav sochy a hodin v dosti špatném stavu, ale po restaurování v letech 1993, 2003 a 2017 je dnes radost si památku prohlédnout. Přesto hodinám hrozí stále poškození od vandalů, což je patrné při podrobném prozkoumání připojených fotografií.

JAK VZNIKLY KONCOVÉ MĚRKY

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Koncové měrky držel v ruce asi každý, kdo kdy pracoval s dílenskými délkovými měřidly, ale jak vznikly, to možná každý neví.



Obr. 1: Sada koncových měrek

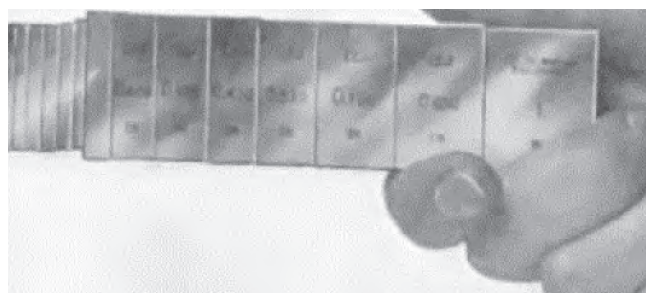
Koncové měrky (též označované jako Johanssonovy měrky nebo základní měrky) jsou přesné ocelové, případně keramické destičky nebo hranoly s přesností až 0,0001 mm. Koncové měrky se používají jako hmotný etalon délky v systému metrologické návaznosti měřidel a měřicích přístrojů.

Vynálezce měrek Johansson byl zaměstnán jako zbrojní inspektor firmy Carl Gustafs Stads Gevärsfaktori ve městě Eskilstuna ve Švédsku. Když Švédsko v roce 1894 koupilo licenci na výrobu karabiny Mauser, Johansson byl velmi nadšený z možnosti studovat postupy měření u firmy Mauser v rámci přípravy na výrobu v souladu s licencí zbrojařské firmy Carl Gustaf (která začala o několik let později). Návštěva továrny Mauser v Oberndorfu am Neckar v Německu byla pro něj nicméně zklamáním. Ve vlaku domů přemýšlel o problému přesného etalonu různých délek pro dílenskou

praxi a dostal nápad vytvořit sadu bloků, které by mohly být kombinovány pro dosažení etalonu potřebné délky.

Ačkoliv v té době byla už hojně využívána měřidla, pro kontrolu výrobků ale převažovalo užití kalibrů typu dobrý/vadný (dnes bychom to vyjádřili jako shodný/neshodný). Jednalo se o kontrolní pomůcky vyrobené individuálně na zakázku jen pro určitý druh měření/porovnání. Nikdy nebyly vyvinuty velmi přesné měrky, které by mohly být sestaveny dohromady a vytvořily tak libovolně dlouhou řadu etalonů. To si představoval Johansson jako ideální řešení a začal se zabývat broušením kovových destiček.

Protože brusky v továrně na pušky, kde pracoval, nebyly dost dobré, tak po návratu domů z Německa použil šicí stroj své ženy Singer a upravil jej na stroj k broušení a lapování. Výhodné bylo provádět tuto přesnou práci doma. Jeho žena Margareta mu, kromě práce v domácnosti, hodně pomohla i při broušení měrek. Johansson s její pomocí mohl demonstrovat své výsledky svému zaměstnavateli. Johansson získal svůj první švédský patent už v roce 1901, časem vytvořil i výrobní Švédskou společnost CE Johansson AB a světovou hospodářskou krizí překonal prodejem patentů i své výrobní firmy prodejem firmě Ford v USA, která pak dále myšlenku měrek rozvíjela a zajišťovala i výrobu pro každého, kdo si je mohl finančně dovolit koupit. Johansson strávil mnoho let prací pro Forda v Americe. Během svého života se plavil 22krát přes Atlantik. V roce 1936, ve věku 72 let, už cítil, že je čas odejít a vrátit se do Švédska. Krátce po své smrti v roce 1943 získal i největší možné ocenění od Švédské královské akademie technických věd.



Obr. 2: Fotografie 36 Johanssonových měrek a držných vodorovně z knihy o výrobě nástrojů z roku 1907 podle Wikipedie. Bloky drží pohromadě výhradně adhezí jejich extrémně plochých povrchů, která je tak pevná, že snadno unese jejich váhu.



Carl Edvard Johansson (1864 – 1943)

je jméno, které v našich končinách není příliš známé. Tento švédský vědec a vynálezce stojí tak trochu v ústraní jeho známých současníků, například Thomase Edisona nebo Henryho Forda.

Pokud bychom ve Švédsku zmínili jméno Carla Johanssona, každý bude vědět, o koho jde. Je to stejné, jako bychom v našich končinách hovořili o Františku Křižíkovi. Jenže Johanssonův nejznámější vynález nebyl a není tolik vidět, přesto by však bez něj žádná výroba neprobíhala tak hladce, jak tomu dnes je. Johansson totiž na přelomu 19. a 20. století představil sady měrných bloků, které někde vešly ve známost jako Johanssonovy měrné bloky. U nás se jim lidově říká johansonky a mezi odborníky se označují jako koncové nebo základní měrky.

(Zdroj: Wikipedie)

KALIBRACE SYSTÉMU WHITE RABBIT PRO POROVNÁVÁNÍ ČASOVÝCH STUPNIC UTC (FEL) A UTC (TP)

Doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc.;
Ing. Radek Sedláček, Ph.D.; **Ing. Michal Špaček**

Fakulta elektrotechnická ČVUT v Praze

Ing. Blanka Čemusová;
Ing. Alexander Kuna, Ph.D.

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR

RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D.;
Ing. Josef Vojtěch, Ph.D.

CESNET, z.s.p.o.

Úvod

Článek seznamuje se současným stavem systému White Rabbit pro porovnávání časové stupnice UTC(FEL) generované v Laboratoři přesného času a frekvence (LPČF) na Fakultě elektrotechnické ČVUT a národní časové stupnice UTC(TP) udržované v Laboratoři státního etalonu času a frekvence (LSEČF) v Ústavu fotoniky a elektroniky ÚFE AV. Přímě navazuje na příspěvky [1], [2] publikované v časopise Metrologie v letech 2019 a 2021.

Laboratoř LPČF je budována od roku 2013. Postupně byla vybavena cesiovými hodinami MicroSemi 5071A/001 v. č. 3519 a nezbytnou přístrojovou infrastrukturou (čítače s vysokým rozlišením, přijímače GNSS typu GTR 51, distribuční zesilovač, aj.). Následně byla laboratoř propojena optickou přenosovou trasou s laboratoří LSEČF. Použití technologie White Rabbit (WR) se datuje od roku 2019, kdy byla poprvé nasazena na porovnání stupnic UTC(FEL) a UTC(TP). V následujících letech byl systém porovnání založený na technologii WR vylepšován s cílem dosáhnout co nejvyšší metrologické parametry a vysokou spolehlivost. Zejména se jednalo o návrh a ověření pokročilých kalibračních postupů, které snižují nejistotu porovnávání časových stupnic, realizaci HW komponent a programového vybavení zejména pro monitoring celého systému i jednotlivých WR zařízení.

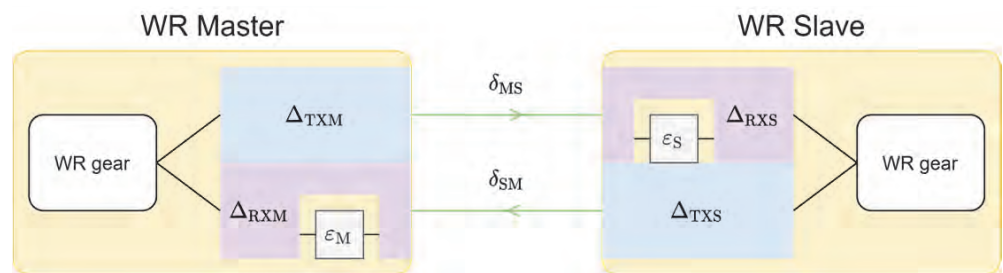
1. Metody řešení

1.1 Kalibrace systémů White Rabbit

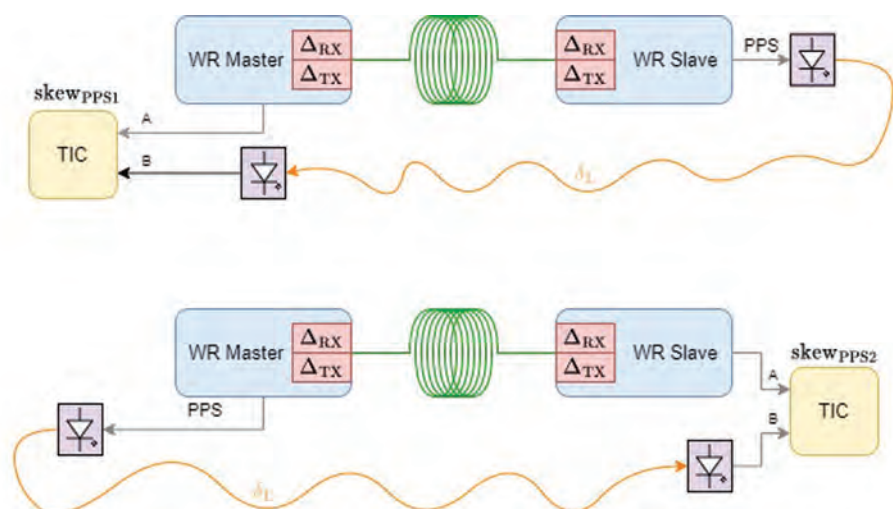
Teoretický rozbor týkající se kalibrace systémů White Rabbit byl detailně proveden v článku [2], důležitá fakta zopakujeme. Každé zařízení WR (Master, Slave) vykazuje časové zpoždění jak na straně vysílací, tak na straně přijímací (Δ_{TXM} , Δ_{RXS} , Δ_{TXS} , Δ_{RXM}), viz **obr. 1**. Jednotlivá zpoždění zahrnují jak součet zpoždění uvnitř FPGA, v součástkách na desce plošných spojů, na desce samotné a optoelektronických převodnicích v transceiverech SFP. Na straně příjmu je také započítáno zpoždění vzniklé rekonstrukcí hodinového signálu na příjmu, tzv. *bit-slide* (označovan symboly ϵ_M a ϵ_S). Další důležitou veličinou je zpoždění způsobené šířením světla vláknem.

Základní princip kalibrace je dokumentován na **obr. 2**. Postup stanovení asymetrie reálné přenosové trasy (resp. již instalovaného optického vlákna) je založen na využití pomocného dalšího optického kanálu, který bude sloužit pro přenos 1 PPS signálu ve směru *Master/Slave* a *Slave/Master* na stejné vlnové délce (**obr. 2**).

V prvním kroku použijeme elektro-optický převodník (EO), který připojíme k PPS výstupu WR *slave* a pomocnému vláknu. Na straně zařízení WR *Master* použijeme



Obr. 1: Model systému White Rabbit (viz [2])



Obr. 2: Měření asymetrie pomocí dalšího optického kanálu (viz [2])

opto-elektrický převodník (OE) připojený k pomocnému vláknu a osciloskopem nebo čítačem změříme časovou diferenci $skew_{PPS1}$ mezi signály 1 PPS ze zařízení *Master* a na výstupu přijímače:

$$skew_{PPS1} = t_{PPS1} + \delta_L - t_{PPSM1} \quad (1)$$

Poté měření opakujeme tak, že elektro-optický převodník připojíme k výstupu signálu 1 PPS zařízení *WR Master* a pomocnému vláknu. Na straně *WR Slave* pak použijeme opto-elektrický převodník připojený k pomocnému vláknu a určíme obdobně časovou diferenci $skew_{PPS2}$:

$$skew_{PPS2} = t_{PPSM2} + \delta_L - t_{PPS2} \quad (2)$$

Časová diference mezi signály 1 PPS generovanými zařízeními *Master* a *Slave* je:

$$skew_{PPS} = t_{PPSM1} - t_{PPS1} = t_{PPSM2} - t_{PPS2} \quad (3)$$

a z těchto rovnic dostaneme:

$$skew_{PPS} = 0,5 (skew_{PPS2} - skew_{PPS1}) \quad (4)$$

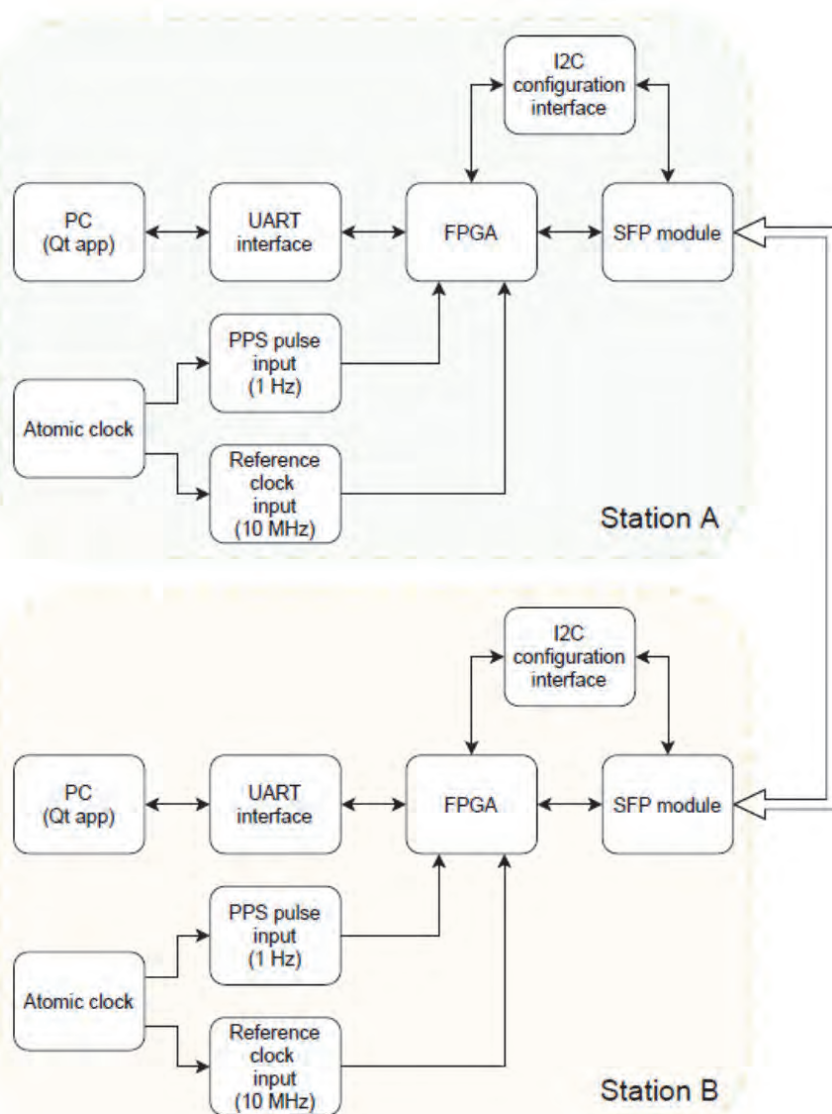
Místo pomocného vlákna lze použít obousměrný kanál ve vlnovém multiplexu. Celkově tak budou třeba dva kanály pro komunikaci *M/S* a *S/M* a třetí pro kalibraci.

1.2. Návrh a realizace modulů pro měření asymetrie optické trasy

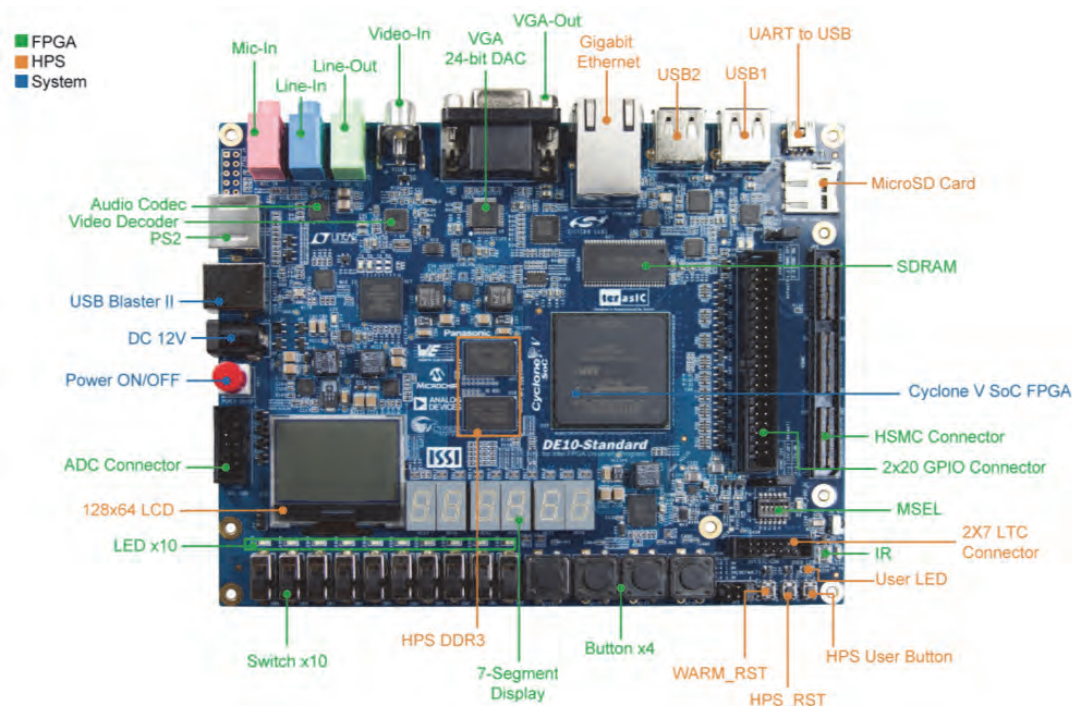
Pro měření asymetrie dle výše uvedeného postupu je nutné použít vhodné měřicí moduly. Tyto moduly byly navrženy a realizovány na pracovišti řešitele projektu v rámci řešení diplomové práce [3]. Základní blokové schéma modulů a jejich zapojení v měřicím řetězci FEL/ÚFE je uvedeno na **obr. 3**.

Každý měřicí modul je tvořen bloky FPGA, SFP, I2C interface a UART. V bloku FPGA je implementována kompletní řídicí logika, včetně procesu generování a odeslání „časové značky“ odvozené od vstupního signálu 1 PPS z cesiových hodin a procesu detekce „časové značky“ vyslané modulem umístěným ve vzdálené laboratoři (na druhém konci optické linky), dále generování signálu 1 PPS, který odpovídá detekované „časové značce“ pro měření pomocí externího čítače.

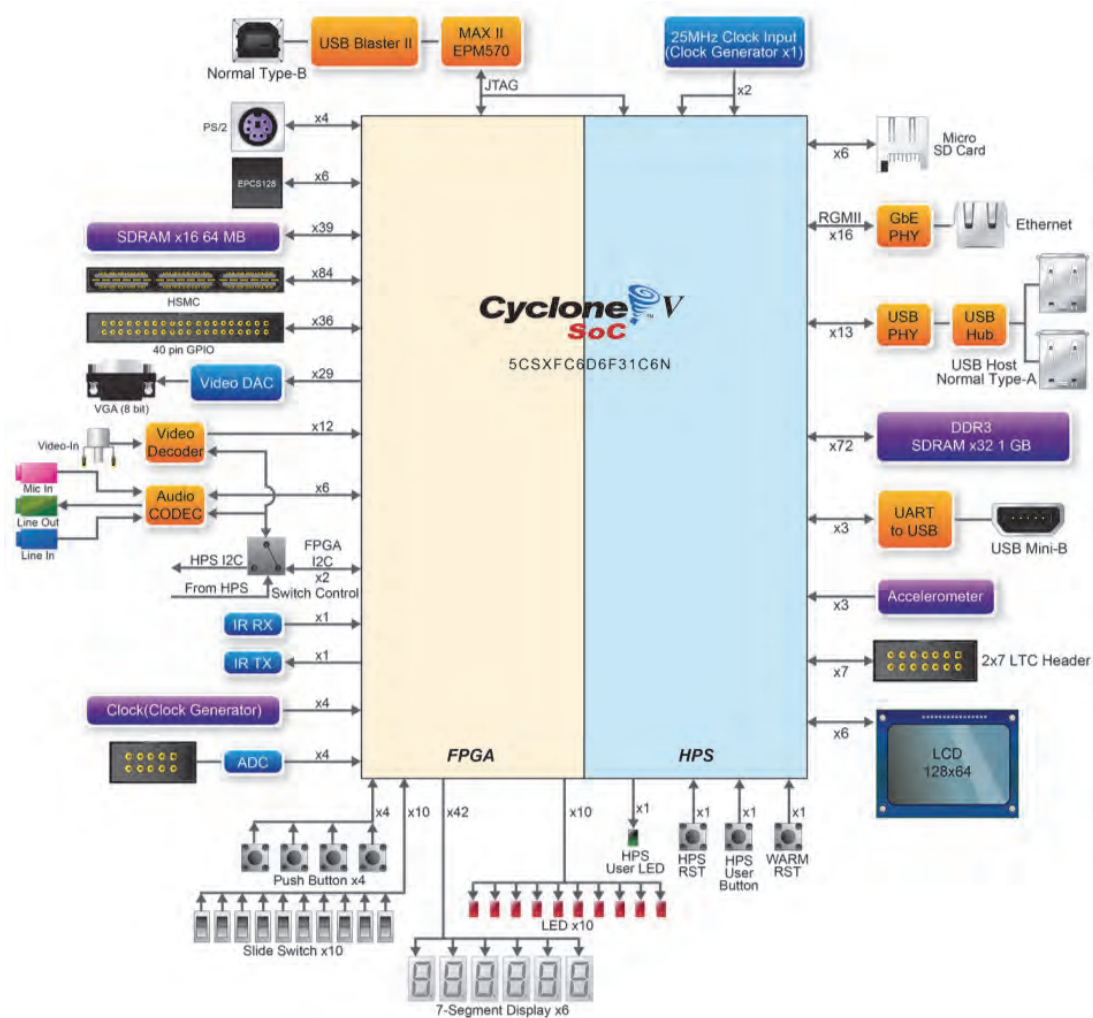
V bloku FPGA je rovněž implementován čítač pro měření časového intervalu (Time-to-Digital Converter TDC) s rozlišením přibližně 10 ps, který je možné použít pro dílčí měření. Pro vývoj byl použit kit Terasic DE10-Standard (**obr. 4** a **obr. 5**). K němu je následně připojena navrhovaná rozšiřující deska (**obr. 6** a **obr. 7**). Ta má za úkol poskytnout vhodné rozhraní, které nám samotný vývojový kit neposkytuje včetně elektro-optického/opto-elektrického rozhraní (SFP transeivery zajišťující vysílání elektrického signálu do optického vlákna a příjem optického signálu z vlákna). Celý systém je řízen procesorem Nios, který mimo jiné umožňuje přístup ke konfigurační paměti SFP modulu a také zajišťuje komunikaci s PC. SW uživatelská aplikace spustitelná na počítači pod OS MS Windows poskytuje vizualizaci měřených dat spolu s jejich následným exportováním a také přístup ke konfiguraci SFP modulu.



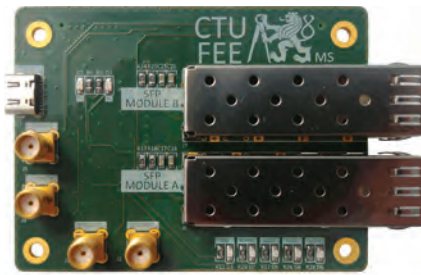
Obr. 3: Blokové schéma měřicího řetězce FEL/ÚFE



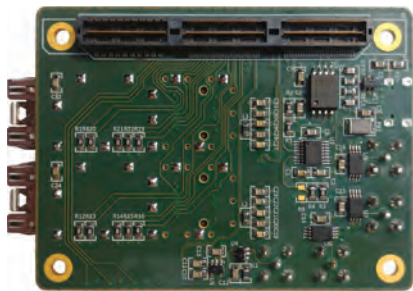
Obr. 4: Vývojový kit pro práci s hradlovými poli Terasic DE10-Standard (viz [4])



Obr. 5: Periferie a HW rozhraní vývojového kitu Terasic DE10-Standard (viz [4])



Obr. 6: Rozšiřující deska ke kitu Terasic DE10-Standard realizovaná na FEL ČVUT



Obr. 7: Druhá strana rozšiřující desky ke kitu Terasic DE10-Standard

Pro signály vedené přes optické rozhraní je využito kódování Manchester. Kódování bylo nutné implementovat především kvůli optickým tranceiverům. Tranceivery nejsou konstruovány pro přenos signálu o frekvenci menší než několik MHz. Manchester kódování je výhodné i z toho důvodu, že umožňuje na straně příjemce rekonstruovat nejen vysílaná data, ale také referenční 10 MHz signál,

kterým byla data kódována. Přesný popis řešení měřicích modulů a výsledky testování jsou uvedeny v práci [3].

1.3 Návrh měřicího řetězce pro automatickou kalibraci systému White Rabbit ČVUT FEL - ÚFE AV

Detailní schéma kompletního měřicího řetězce FEL/ÚFE určeného ke kalibraci systému White Rabbit je zobrazeno na obr. 8. Zprovoznění tohoto systému, následná dlouhodobá měření a výsledná automatická kalibrace byly klíčovými cíli řešení úkolu PRM 2022 č. VIII/1/22. Při řešení kalibrace systému WR dle výše uvedeného postupu byly použity elektro-optické/opto-elektrické (EO/OE) moduly popsané v předchozím odstavci 1.2.

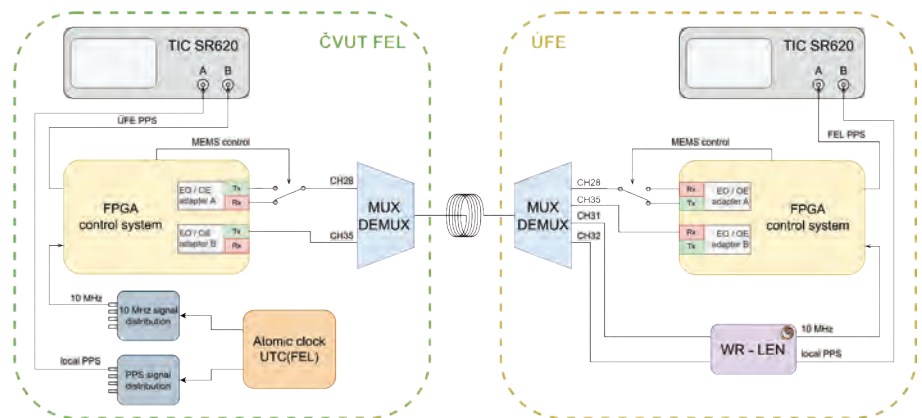
Důležitými novými prvky systému zařazenými před obvody MUX/DEMUX jsou optické přepínače na bázi MEMS (*micro-electro-mechanical systems*) technologie, které byly použity pro přepínání optického signálu z výstupů a vstupů (Tx, Rx) použitých tranceiverů. Toto řešení odstranilo problém manuálního přepojování optické trasy a umožnilo plně automatizovanou realizaci kalibračního procesu.

Pro účely kalibrace jsou využity dva optické kanály. První kanál (CH28) je využitý pro

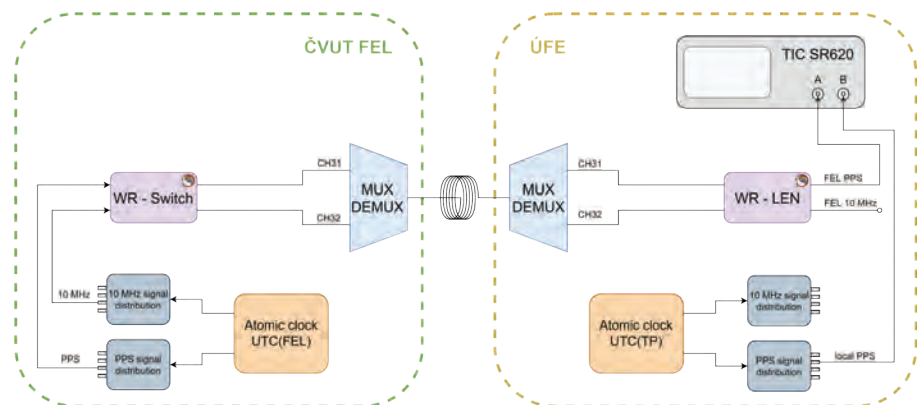
přenos lokálního modulovaného PPS signálu na vzdálené pracoviště, kde je signál přijat, demodulován a porovnáván s PPS signálem vzdáleného pracoviště. Druhý optický kanál (CH35) je dedikován pro přenos signálu, který ovládá směr přenosu PPS signálu, tedy řídí, zda je PPS signál vysílán z FEL na ÚFE nebo z ÚFE na FEL. Samotné přepínání směru přenosu PPS signálu je realizováno pomocí MEMS přepínačů, které jsou zařazeny do optické přenosové trasy na obou pracovištích. Konfigurace celého kalibračního řetězce je dokumentována na již zmíněném obr. 8.

Periodické přepínání směru vysílání PPS signálu zajišťuje zařízení v laboratoři FEL, které v tomto řetězci funguje jako Master, zatímco v ÚFE funguje obdobné zařízení jako Slave. V rámci FPGA je implementován soft-core procesor NIOS II, jehož firmware se mimo jiné stará o přepínání místního MEMS přepínače a zároveň zprostředkovává přes optickou linku MEMS přepínače na ÚFE. Periodu přepínání lze nastavit v proprietární aplikaci, která umožňuje pohodlné a přehledné ovládání uživatelem.

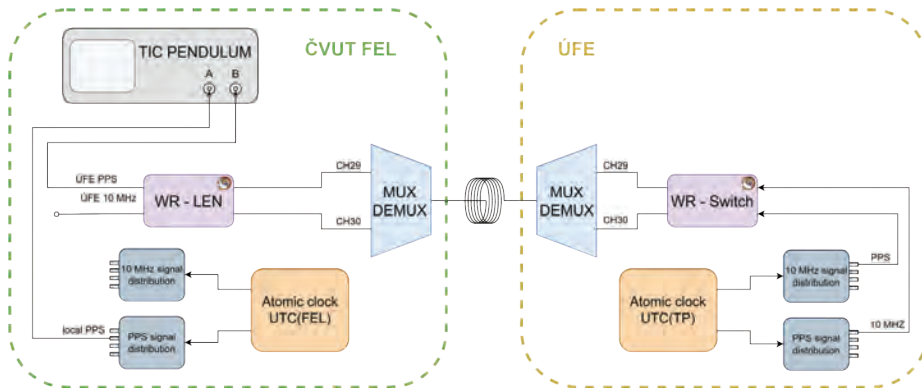
Obr. 9 dokumentuje měřicí řetězec pro určení časové difference mezi stupnicemi UTC(FEL) a UTC(TP). Zařízení WR-LEN v ÚFE připojené na optické kanály CH31 a CH32 je totožné s WR-LEN na obr. 8.



Obr. 8: Blokové schéma měřicího řetězce FEL/ÚFE pro stanovení asymetrie optické trasy



Obr. 9: Blokové schéma měřicího řetězce pro určení časové difference mezi stupnicemi UTC(FEL) a UTC(TP)



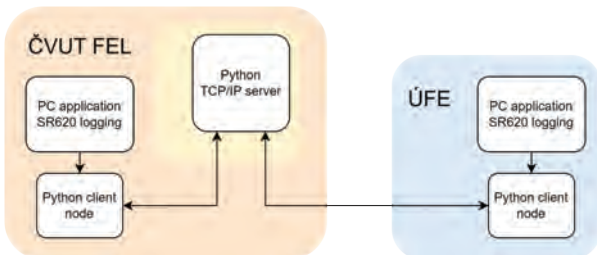
Obr. 10: Blokové schéma měřicího řetězce pro určení časové difference mezi stupnicemi UTC(FEL) a UTC(TP)

Obr. 10 dokumentuje obdobné zapojení pro určení časové difference mezi stupnicemi UTC(FEL) a UTC(TP), kde WR – Switch (Master) je v laboratoři SEČF na ÚFE, WR-LEN (Slave) v časové laboratoři na FEL.

1.4 Systém přenosu naměřených dat

Pro vyhodnocení měření kalibračním systémem a stanovení asymetrie přenosové trasy je potřeba měřená data z obou laboratoří shromažďovat na jednom místě. Z tohoto důvodu byla k systému vytvořena pomocná aplikace, která tento problém řeší. Centrálním uzlem je TCP/IP server připojený na Internet, kde dochází ke shromažďování měřených dat z laboratoří a následnému vyhodnocení asymetrie.

Každé měřicí místo je vybaveno TCP/IP klientem (fyzicky se jedná o notebook LENOVO ThinkPad). Klient se připojí na vzdálený server a následně pouze odesílá záznam měření z aplikace pro vyčítání dat z čítače SR620. Server tato data přijímá od obou klientů a po skončení každé měřicí etapy (2x15 minut) vypočítá aktuální hodnotu časové difference mezi signály 1 PPS dle rovnice (4). Dále jsou prezentovány základní informace o měření, počet vzorků, ze kterých je výpočet prováděn a směrodatná odchylka. Server zároveň funguje jako zařízení pro archivaci dat, protože ukládá na disk všechna měřená data poskytnutá klienty.



Obr. 11: Struktura systému „on-line“ přenosu dat získaných měřením v laboratořích LSEČF (ÚFE AV) a LPČF (FEL ČVUT)

2. Praktické výsledky

2.1 Laboratorní ověření měřicího systému

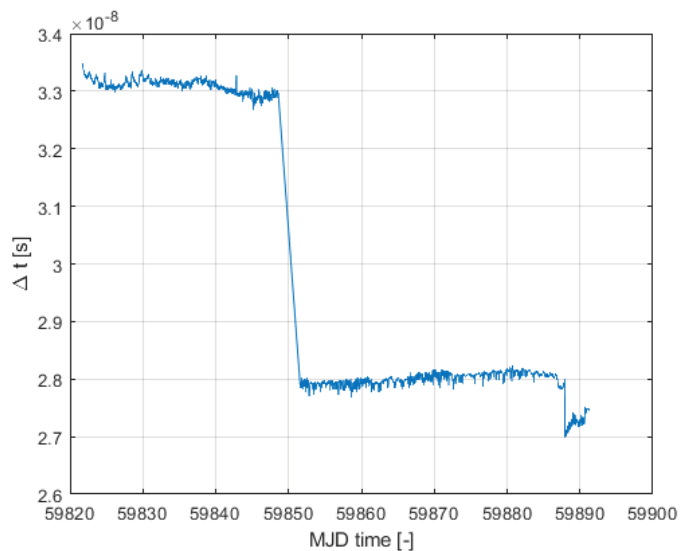
Ověření funkčnosti měřicího řetězce bylo provedeno v laboratoři řešitelského pracoviště (Katedra měření

FEL ČVUT), kde byl v průběhu března 2022 sestaven měřicí systém obsahující všechny klíčové prvky a zařízení podle schématu na obr. 8. Pouze cesiové hodiny byly nahrazeny Rb normálem a přenosová trasa byla simulována jednovidovým optickým vláknem o délce 20 km. Výsledky měření jsou archivovány na pracovišti řešitele, ale pro vyhodnocení chování reálné trasy nemají zásadní význam.

2.2 Výsledky měření asymetrie na reálné přenosové trase

Výsledek měření asymetrie na optické trase FEL ČVUT – ÚFE AV je zobrazen na obr. 12 a obr. 13. Skoková změna Δt o 5 ns uprostřed grafu na obr. 12 (v období od 26. 9. 2022 do 29. 9. 2022, MJD 59848 až 59851) byla způsobena výměnou některých optických prvků optické trasy, mimo jiné výměnou zařízení MUX/DEMUX v laboratoři na FEL. Díky této úpravě je nyní k dispozici dalších 8 optických kanálů v rozsahu CH36 až CH43.

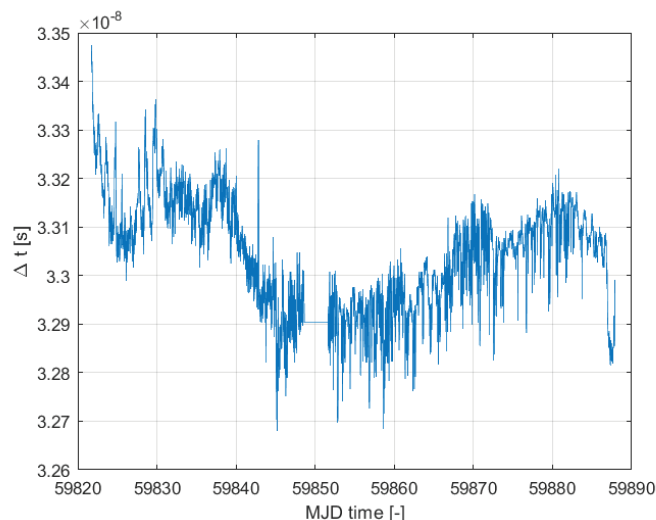
Skoková změna $\Delta t = 5$ ns dokládá funkčnost navrženého měřicího systému (dle obr. 8). Skoková změna na konci grafu (5. 11. 2022, MJD 59888) byla způsobena úpravou měřicího řetězce související s přípravou nových měření a v dalších rozbořech byla uvažována jako irelevantní.



Obr. 12: Výsledky měření asymetrie, skew_{PPS} dle vztahu (11) na trase FEL – ÚFE AV od 30. 8. 2022 do 7. 11. 2022 (MJD 59821 až 59890)

Na obr. 13 je zobrazen detailně stejný průběh jako na obr. 12 pouze s korekcí, která eliminovala zmíněný skok. Na základě analýzy měřeného průběhu Δt , tedy skew_{PPS} dle vztahu (4), je možné konstatovat, že změny asymetrie reálné optické trasy mohou dosahovat značně vysokých hodnot v řádu stovek pikosekund. Konkrétně v období od 1. 9. 2022 do 30. 9. 2022 byla maximální změna až 600 ps.

Tyto výrazné změny asymetrie, která je zdrojem nejistoty (typu B) porovnání časových stupnic, nebylo možné dosud používanými technickými prostředky identifikovat. Jedině použití automatizovaného měřicího systému umožní zaznamenat změnu asymetrie optické trasy a následně její korekci.



Obr. 13: Výsledek měření asymetrie od 30. 8. 2022 do 7. 11. 2022 (MJD 59821 až 59890) s korekcí po výměně bloku optického MUX/DEMUX a úpravách na trase FEL – ÚFE od 26. 9. 2022 do 29. 9. 2022 (MJD 59848 až 59851)

Závěr

V období 2021 až 2022 byl výzkum na FEL ČVUT v oblasti přenosu přesného času zcela zaměřen na technologii White Rabbit. Metoda kalibrace reálného systému WR byla navržena a úspěšně ověřena již v roce 2021. V loňském roce se podařilo realizovat plně automatizovaný systém měření asymetrie optické trasy s archivací výsledků měření.

Na základě dlouhodobých měření (v řádu měsíců) je možné konstatovat, že změna asymetrie reálné optické přenosové trasy může dosahovat hodnoty více než 200 ps během jednoho týdne a více než 500 ps během jednoho měsíce. Automatizovaný kalibrační systém, který jsme v rámci řešení úkolu PRM 2022 realizovali, umožňuje zaznamenat okamžitou, tj. v časovém intervalu v řádu jednotek až desítek minut, změnu hodnoty asymetrie optické trasy a následně ji použít pro korekci při výpočtu difference porovnávaných časových stupnic. Takto lze eliminovat významný zdroj nejistoty (typu B) při porovnávání časových stupnic. Dosud používané metody a zařízení (např. Matrix) to neumožňovaly. V průběhu řešení byly získány další velmi cenné poznatky související s reálným chováním optické přenosové trasy mezi Laboratoří přesného času a frekvence FEL a Laboratoří státního etalonu času a frekvence v ÚFE AV.

Výsledky mohou významně přispět k rozvoji národní optické infrastruktury pro přenos času a frekvence s parametry, které odpovídají nejstabilnějším současným i nově vyvíjeným zdrojům frekvence a času (viz aktivita CITAF <https://citaf.org/>).

Odkazy

- [1] Roztočil, J., Vigner, V., Roškot, S., Kuna, A., Čemusová, B., Smotlacha, V., Vojtěch, J.: *Systém přenosu času mezi Laboratoří přesného času a frekvence FEL ČVUT a Státním etalonem času a frekvence*. Metrologie 3/2019.
- [2] Roztočil, J., Vigner, V., Sedláček, R., Špaček, M., Roškot, S., Kuna, A., Čemusová, B., Smotlacha, V., Vojtěch, J.: Porovnání časových stupnic UTC(FEL) a UTC(TP) pomocí technologie White Rabbit. Metrologie 4/2021.
- [3] Špaček, M.: Implementation of a method for comparing two time scales on an FPGA circuit. Master thesis. FEE CTU in Prague, May 2021, <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/95202>
- [4] „Terasic DE10-Standard Development Kit.“, <https://rocketboards.org/foswiki/Documentation/DE10Standard>
- [5] Roztočil, J.: Navázání časové stupnice FEL Time na UTC(TP) pomocí optického přenosu. Zpráva závěrečné oponentuře úkolu PRM 2017 č. VIII/1/17. ČVUT FEL, Praha 2017. RIV/68407700:21230/17:00318796
- [6] <http://www.usourcetech.com/optical-multiplexer/cwdm-oadm.html>
- [7] Daniluk, G.: White Rabbit calibration procedure, version 1.1. CERN BECO-HT, October 2019.
- [8] Pinkert, T. et al., High-accuracy long-haul time & frequency transfer using White Rabbit. 9th White Rabbit Workshop (2016), <https://www.ohwr.org/attachments/4265/3>
- [9] Bousonville, M. & Rausch, J.: VELOCITY OF SIGNAL DELAY CHANGES IN FIBRE OPTIC CABLES. Proceedings of DIPAC09. Basel, Switzerland, 2009.
- [10] Vojtěch, J. et al., „Joint stable optical frequency and precise time transfer over 406 km of shared fiber lines - Study,“ 2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Barcelona, 2017, pp. 694-697.
- [11] Vojtěch, J. et al., „Precise time transfer on the IPE - VUGKT line - a detailed analysis,“ 2016 39th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), Vienna, 2016, pp. 757-760.



ÚŘAD PRO TECHNICKOU
NORMALIZACI, METROLOGII
A STÁTNÍ ZKÜSEBNICTVÍ

VYHLAŠUJE

výběrová řízení na obsazení volných služebních a pracovních míst.
Nabídka služebních a pracovních míst je
zveřejněna na úřední desce ÚNMZ

<https://www.unmz.cz/obecne/nabidka-zamestnani/>

PŘÍSPĚVEK K MĚŘENÍ PARAMETRŮ TRAMVAJOVÝCH TRATÍ

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.
Bc. Peter Onderčo

*Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Strojnická fakulta
 Dopravní podnik Bratislava, a.s.*

Abstrakt

Príspevek popisuje zabezpečení tramvajové infrastruktury pomocí měření, manuálního i automatického, nebo prostřednictvím měřicí tramvaje, která dokáže měřit parametry tratí pro následné vyhodnocování a zlepšování kvality poskytovaných služeb pro cestující ve městech. Právě pravidelná kontrola a měření tratí si následně vyžaduje neustálou údržbu, spojenou s kontrolami, které jsou založené na měření, sběru dat a jejich vyhodnocování. Metody kontroly a měření se v minulosti vykonávaly zejména vizuálně, dnes k těmto účelům využíváme techniku. Dopravní podniky disponují různými zařízeními pro diagnostiku tratí. Cílem je tedy přiblížit veličiny, které jsou důležité pro udržení kvality a zlepšování poskytovaných služeb cestující veřejnosti.

Klíčová slova: měření, parametry tramvajových tratí, metrologie, městská hromadná doprava, kvalita

Úvod

Měření parametrů tramvajových tratí v sítích městské hromadné dopravy tvoří důležitý prvek zabezpečování dopravy ve městech. Tramvajové tratě totiž nejsou jen koleje, ale tvoří je i další zařízení, resp. celá infrastruktura, která vyžaduje diagnostiku, údržbu a opravy. [1] Pro bezpečný provoz tramvajových vozidel musí být splněno mnoho podmínek. K tomuto účelu se používají měřicí zařízení/vozidla. Prvotní měření tramvajové trati bývá zpravidla v rozsahu technicko-bezpečnostní zkoušky, tedy při zahájení zkušební provozu u nových tratí. Posuzuje se technická způsobilost určených technických zařízení, prostorová průchodnost, únosnost a měření geometrické polohy koleje, také probíhají zkušební jízdy, zkouší se traťová rychlost vozidel postupným zvyšováním rychlosti. Součástí zkoušek bývají také testy pro funkční součinnost jízdy tramvajového vozidla, následně začíná zkušební provoz nové trati, resp. začíná pravidelná kontrola a měření parametrů tramvajových tratí v určeném cyklu. Je zde důležitý styk obou částí, tedy kolejí a vedení, při dodržení vzájemné shodnosti parametrů tramvajových drah. [2]

Prvky tramvajových tratí

Tramvajová dráha se skládá z více prvků. Je to spodek tramvajové trati (podklad trati). Mezi nejviditelnější částí tratí je svršek tramvajové trati, který tvoří koleje, výhybky, konstrukce a konstrukční prvky. Dále tu jsou další stavby a pevná zařízení, zastávky, sdělovací a zabezpečovací zařízení. Důležitou součástí jsou elektrická zařízení, které představují měřírny, napájecí vedení, elektrické rozvody, trolejové vedení, které je uchyceno na nosném systému podpěr, přírodních a zpevněných vedení. Součástí tratě je i systém zařízení

pro regulaci a měření. Také osvětlení tratí, a s tím spojené bezpečnostní prvky, jsou důležité pro bezpečný provoz. Podstatnou částí je depo pro organizování a řízení dopravy, odstavování vozidel a provádění technických prohlídek, údržby a oprav. Požadavky vyplývají také na pevná zařízení pro měření, údržbu a opravu tratí, stavby a zařízení pro zastávky. S ohledem na požární ochranu pak máme požadavky na hydranty, potrubí a vodovodní systémy. [2]

Významný prvek pro měření u tramvajových tratí tvoří riziko překročení hladiny hluku a vibrací, protože tyto veličiny jsou důležité pro sledování z hlediska kvality života ve městech s tramvajovou dopravou. [2]

Základem pravidelného vyhodnocování je stanovený rozchod koleje a geometrická poloha koleje, kontrola trolejového vedení, kontrola zkratových proudů, kontrola ukolejnění stožárů a kontrola kolejových styků. Právě tyto dokumenty jsou součástí technické dokumentace k tramvajové trati, zejména potom záznamy z provedených kontrolních prohlídek, měření a jejich výsledky jsou důležité pro další zpracování pro užívání tramvajové trati z hlediska spolehlivosti a bezpečnosti provozu. [2; 3; 4]

Kontrola a měření na tramvajových tratích

Uvedené kontroly a měření jsou pro správnou péči o tramvajové tratě klíčové z hlediska zabezpečení kvality poskytovaných služeb pro přepravu cestujících na tramvajových linkách. Samozřejmě důležitá je i pravidelná a kvalitně zabezpečená péče o samotná tramvajová vozidla, která po tramvajových tratích jezdí.

Měřicí tramvaj je vždy využívána jako první vozidlo na nové nebo zrekonstruované trati. Měřením začíná provoz. Následně se tato činnost opakuje v rámci pravidelných kontrol. Z hlediska časových intervalů jsou tyto dány vyhláškou, patří sem tyto kontrolní a měřicí prohlídky:

- obchůzka tramvajové trati s doporučeným intervalem 1x za 2 týdny,
- prohlídka výhybek a mechanismu výhybek s doporučeným intervalem každý den,
- měření geometrické polohy koleje, kolejí a výhybek s doporučeným intervalem 1x za 12 měsíců,
- prohlídka trolejového vedení při tramvajových tratích s doporučeným intervalem 1x za 12 měsíců,
- prohlídka mostů a přidružených objektů k tramvajovým tratím, zpravidla 1x za 36 měsíců,
- prohlídka sdělovacích a zabezpečovacích zařízení (jedná se o zařízení určená k organizaci a řízení dopravy, řízení technologických procesů a informovanosti cestujících), interval těchto prohlídek určuje provozovatel po svém uvážení, zpravidla (1 až 2)x ročně. [2]

Další údaje z provozu, jakož i případné nedostatky, jsou také zjišťovány prostřednictvím řidičů tramvají, dopravního dispečinku, běžnou denní kontrolou a pohybem pracovníků okolo tratí. Nejčastěji se vyskytují poruchy výhybek, poškození kolejnice či trolejového vedení, neprůjezdnost tratě vlivem dopravních nehod a s tím vzniklých poškození tratí, atd.

Tyto se potom prověřují a v krajním případě je rozhodnuto o prověření i pomocí měřicí techniky, resp. měřicí tramvaje.

Způsoby kontroly a měření tramvajových tratí

Pokud se podíváme na způsoby kontroly a měření tramvajových tratí, můžeme využívat měřidla určená pro konkrétní veličinu, většinou ruční a přenosná, nebo využívat sofistikovanější zařízení, resp. měřicí vozidla nebo měřicí tramvajové vlečné podvozky. [3]

Většina dopravních podniků, zejména těch s větší tramvajovou sítí, disponuje měřicím tramvajovým vozidlem. Toto vozidlo zpravidla bývá speciálně upraveno pro dané měřicí účely. Takovéto tramvaje bývají vybaveny pozorovacím stanovištěm, v němž buďto sedí pracovník nebo je tam umístěn kamerový systém, který během jízdy monitoruje spolupráci mezi sběračem a trolejovým vedením. Po této kontrole se následně na vytipovaných problémových místech vykonává oprava. Samozřejmě vizuální kontrola pomocí kamerového systému má vícero výhod, protože kamera zachytí velké množství informací, které je možné vyhodnocovat i zpětně. Pro tyto účely také dopravní podniky využívají speciálně upravenou uhlíkovou vložku do sběrače, která dokáže vyhodnotit klikatost trolejového vedení; klikatost se posuzuje zpravidla vůči kolejnicím, resp. sběrači, a hodnoty jsou udávány v centimetrech. Sběrače proudu u tramvají slouží k napájení vozidel elektrickým proudem z trolejového vedení. Kontakt s trolejovým vedením zabezpečuje uhlíková lišta na sběrači. Aby se tato lišta rovnoměrně opotřebovávala, je důležitá klikatost (křivolakost) trolejového vedení. Právě tato klikatost se posuzuje při měření tratí, aby byl zabezpečen stabilní a spolehlivý kontakt sběrače s vedením a docházelo k rovnoměrnému opotřebování lišty. [3; 4]

Pro klikatost platí že, čím větší je klikatost, resp. rozptyl klikatosti, tím je zabezpečené rovnoměrnější opotřebování uhlíkové lišty, samozřejmě při dodržení kvality kontaktu mezi sběračem a trolejovým vedením. V praxi je potom hodnota klikatosti určena maximální povolenou hodnotou, kterou si navolí obsluha, jako sledovaný parametr měření, co je ještě v toleranci a co už je mimo toleranci, a tedy následně musí být v terénu napraveno, aby byl zajištěn bezproblémový

provoz tramvají. Klikatost trolejového vedení je definována jako hodnota vpravo od středu měřicí ližiny (kladná hodnota) a hodnota vlevo od středu měřicí ližiny (záporná hodnota), tyto hodnoty jsou součástí sesbíraných dat.

Měření klikatosti je spojené s náročnější přípravou měřicího vozidla, jedná se o instalaci měřicí lišty s kódem klikatosti (**obr. 1**), spojenou propojovacím kabelem do konektoru na spodní části měřicí lišty. Komunikace je zabezpečena až s napájením celého zařízení, tedy zapne se až se signálem při zapnutí jednotky komunikace s PC/notebookem v měřicí tramvaji.

Uvnitř vozu propojíme jednotlivé komponenty. Napájení modulu propojení s PC/notebookem v měřicí tramvaji se zapne dálkově, dojde k napájení měřicího mikropočítače umístěného na sběrači, toto napájení zapneme až před zahájením měření. Potom již probíhá měření klikatosti za pomoci umístěných snímačů v uhlíkové liště.

Dalším parametrem, který se vyhodnocuje, je výška trolejového vedení nad kolejnicemi a také měření rázu – tedy jakou silou se sběrač odrazí od trolejového vedení. Tato hodnota je důležitá při vyhodnocování přejezdu sběrače tramvaje přes křižovatky trolejových vedení, výměnná pole nebo armatury. Tyto hodnoty se získávají společně s kamerovým záznamem, takže se potom lehce odhalí kritická místa na trati. [3; 4]

Software k měření pomocí měřicího vozidla ukládá soubor s naměřenými parametry trolejového vedení. Před samotným vyjetím a začátkem měření je nutné ověřit funkci měřicího zařízení přepnutím do režimu simulace, kde jsou zkušební generovány impulzy, avšak bez nutnosti jízdy měřicího vozidla. Všechny měřicí funkce je tedy možné vyzkoušet ještě v podmínkách depa a před vyjetím na trať. Takto ověříme, zda se data správně ukládají, vyzkoušíme záznam videí a případně vyzkoušíme funkčnost GPS. Po vyzkoušení funkčnosti už potom měřicí vozidlo vyráží sbírat data do městské tramvajové sítě. [3; 7; 8]

Měření a měřicí tramvaj

Naměřené hodnoty jsou udávány jako náraz na sběrač, rychlost jízdy, výška trolejového vedení a klikatost. Důležité je také zohlednění teploty, vlhkosti a tlaku. Všechny tyto údaje jsou propojeny s projížděnou trasou a navázány

na GPS souřadnice. Z dat potom můžeme určit absolutní hodnotu klikatosti, horní a dolní mez hodnoty výšky trolejového vedení, amplitudu rázu, včetně omezení pro vybraný měřený úsek tratí. Všechny hodnoty jsou udávány v centimetrech (kromě ujeté vzdálenosti, která se udává v kilometrech). [3]

Měřicí vozidlo – měřicí tramvaj Tatra T3 (**obr. 2**) se používá na měření trolejového, resp. trakčního vedení; jedná se o výšku



Obr. 1: Lišta pro měření klikatosti trolejového vedení. Zdroj: Vlastní.

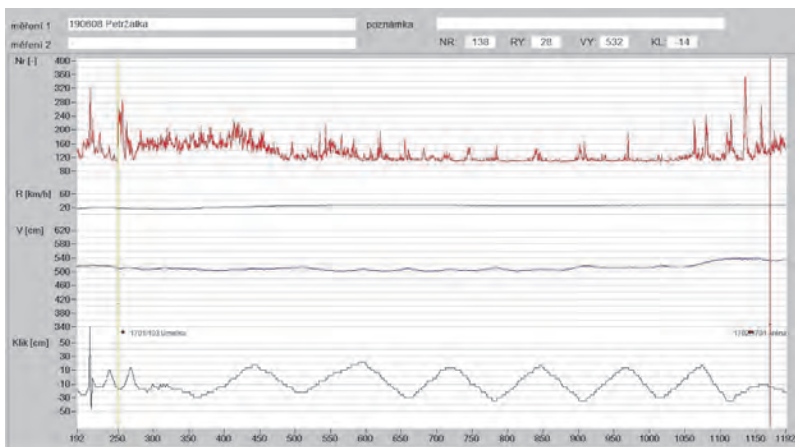
nad kolejnicemi, klikatost, sklon. Vedení je možné sledovat pouhým okem nebo prostřednictvím kamery na sledování spolupráce mezi sběračem a trolejovým vodičem (**obr. 3**).



Obr. 2: Měřicí vozidlo Tatra T3 (ev. č. 8437), sběr dat a obhlídka trati, Dopravní podnik Bratislava, a. s. Zdroj: Vlastní.



Obr. 3: Sedadla a střešní nástavba s výhledem v měřicím vozidle Tatra T3 na kontrolu trolejového vedení, výhled na trolejové vedení. Dopravní podnik Bratislava, a. s. Zdroj: Vlastní.



Obr. 4: Sběr dat z měření vybraného úseku trolejového vedení. Zdroj: [9].

Rekonstrukce na technologické vozidlo byla provedena postupným předěláním vozidla, které v minulosti sloužilo pro přepravu cestujících. [5; 6]

Sběr dat (**obr. 4**) pomocí měřicího vozidla je vyhodnocován již během jízdy, sleduje se náraz na sběrač (Nr), rychlost měření, resp. rychlost jízdy vozidla (R), výška trolejového vedení (V) a klikatost (Klik). Tyto hodnoty jsou udávány v následujících jednotkách: náraz na sběrač (-), rychlost jízdy vozidla (km/hod.), výška trolejového vedení (cm) a klikatost (cm). Při vyhodnocování, resp. opakovaném sběru dat, je důležité mít určený směr jízdy – sledovaný úsek musí být tedy v těchto bodech totožný s předchozím měřením. [7; 8]

Tab. 1: Ukázkový záznam z měření parametrů trolejového (trakčního) vedení. Zdroj: [9], upraveno.

Poloha (km)	Výška (cm)	Klikatost (cm)	Rychlost (km/hod.)	Rázy (-)
0,2565	511	-14	20	276
0,2571	512	-14	19	174
0,2576	511	-14	19	154
0,2581	512	-14	19	140
0,2586	512	-10	19	132
0,2592	512	-10	19	126
0,2597	512	-10	18	122
0,2602	512	-10	19	116
0,2608	512	-6	19	162
0,2613	512	-6	19	176
0,2618	512	-6	19	224
0,2624	512	-2	19	188
0,2629	512	-2	18	176
0,2634	512	2	18	144
0,2639	512	2	19	180
0,2645	512	2	19	166
0,2650	512	6	18	160
0,2655	511	6	18	170
0,2661	511	10	18	132
0,2666	511	14	18	128

Data z měření (**tab. 1**) jsou archivována a slouží i v případě mimořádných událostí pro další zpracování a vývoj situace na tramvajových tratích. Měření tedy hraje významnou úlohu při posuzování způsobilosti tramvajových tratí pro provoz. [4]

Je důležité věnovat dostatečnou pozornost projekční přípravě každého úseku tratě, řádně se připravit na každou zkušební jízdu, aby nemusely být prováděny žádné opravy a změny. Kvalitní zpracování projektové dokumentace při budování tratí je důležitým předpokladem pro úspěšnou zkušební jízdu a využití tratě pro přepravu cestujících, tedy pro úspěšné zvládnutí zkušební provozu. [11]

Měření jako soubor činností s cílem určení měřené veličiny vytváří předpoklad pro další zdokonalování v této oblasti. Parametrů tramvajových tratí je celá řada a je nutné se zamýšlet nad novými způsoby měření těchto parametrů. Standard v podobě měření geometrických parametrů už dnes nestačí, sledují se už mnohem sofistikovanější dynamické parametry trolejového vedení. Výsledkem pro kvalitnější měření bude zvýšení přesnosti a celkové interakce jízdy tramvajového vozidla po tramvajové trati. Včetně zabezpečení pravidelných kalibrací využívaných přístrojů. Kalibracím podléhají v tomto případě všechna délková měřidla a rychloměr vozidla, pro měření přítlaku dále váhy a teploměr, kde teplotu (°C) bereme jako důležitý doplňkový parametr pro zpracování výsledků měření. [10; 11; 12]

Závěr

Při poskytování dopravních služeb je důležitá i péče o celkovou infrastrukturu. Abychom dokázali o něco pečovat, musíme vědět, v jakém stavu se to nachází. Zjištění tohoto stavu nám umožňuje sběr dat a jejich vyhodnocení. Právě měření parametrů tramvajových tratí je podstatné pro přesnou, rychlou, bezpečnou a komfortní dopravu 21. století v sítích městské hromadné dopravy, s ohledem na roční období. Pravidelná údržba a kontrola všech zařízení má přímý vliv na kvalitní přepravu cestujících. Infrastruktura je tvořena kolejovým a trolejovým systémem, rozchod kolejí musí být v symbióze s trolejovým vedením, které zabezpečuje kontakt mezi vozidlem, resp. sběračem.

Potom provozuschopnost tramvajových tratí udává jejich technický stav, který zaručuje bezpečný a plynulý provoz tramvajových vozidel. Konstruktivní uspořádání koleje, geometrické upořádání koleje (osa koleje, rozchod koleje, převýšení koleje, sklon, minimální a maximální poloměr oblouku, přechodnice, aj.), její prostorová poloha (zajištěná geodetickým kontinuálním měřením, se zajišťovacími značkami) a k tomu stav trolejového vedení (v závislosti na ujeté dráze a rychlosti jízdy, kde sledujeme klikatost, výšku, napětí, aj.), stav v síti u elektrické energie, včetně spotřeby a rekuperace, podmínky napájení na trati, to vše tvoří klíčové parametry sledované u tramvajových tratí. [4]

Při měření, resp. při jízdě s měřicí tramvají je pro posuzování trolejového vedení potřebné brát ohled také na teplotu okolí [13], dále na rychlost jízdy vozidla, přítlak sběrače, stav kolejnic a trati, jiná vozidla v blízkosti měřicího vozidla (ideální je provádět měření v noci, kdy je měřicí tramvaj na trati sama), vliv na měření mají i konstrukční prvky na vedení, tedy například způsob a vzdálenost závěsů. [4; 7] Kvalita tramvajových tratí je tedy závislá na komplexním posouzení více sledovaných veličin, k jejichž měření a vyhodnocování je důležité přistupovat inovativně – postupně vylepšovat způsoby sběru dat.

Poděkování

Poděkování patří Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě, Dopravnímu podniku Bratislava, a. s. (DPB, a. s.), zejména potom měřicímu technikovi

panu Rastislavu Vajgelovi z DPB, a. s. za jeho ochotu a čas, včetně umožnění sesbírat data z tramvajových tratí. Děkujeme také uvedeným projektům: ITMS 313011V334, ITMS2014+ 313011BUH7, VEGA 1/0675/22, APVV-21-0216, VEGA 1/0687/21, 21NRM05, APVV-21-0195 a KEGA 024STU-4/2023.

Literární zdroje

- [1] *KRAB pro měření tramvajových tratí*. [online]. Prazsketramvaje.cz © Pražské tramvaje 2001-2023 [cit. 2023-06-10]. ISSN 1801-9994. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2011121401>
- [2] *Vyhláška číslo 177/1995 Sb. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah*. [online]. © AION CS, s. r. o. 2010-2023 [cit. 2023-06-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177>
- [3] KOLLÁR, Karol. Diagnostika kvality trolejových vedení. In *Dopravák*. Časopis zamestnancov Dopravného podniku Bratislava, akciová spoločnosť. *Evidenčné číslo periodickej tlače EV 5904/20. Rok 2022, číslo 2, dátum vydania 10/2022. s. 42-44.*
- [4] PLÁŠEK, Otto. *Úvod do železničních staveb*. [přednáška]. Brno: Fakulta stavební. Vysoké učení technické v Brně. Ústav železničních konstrukcí a staveb. 2023. 79 stran. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/zet/plasek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf
- [5] *ČKD Tatra T3*. [online]. Imhd.sk Copyright © imhd.sk, 2000-2023. Dostupné z: <https://imhd.sk/ba/vozidlo/267/ČKD-Tatra-T3-8437?&p=1>
- [6] *Měřicí tramvaj 5521*. Wikipedie. Wikimedia. [online]. Wikipedia.org © 2023 [cit. 2023-06-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Měřicí_tramvaj_5521
- [7] *Měření parametrů trakčního vedení*. [dokument]. Software pro měření parametrů trakčního vedení měřicí tramvají. Uživatelská příručka. 12 stran.
- [8] *Grafický prohlížeč V11.1-VidZGPS*. [dokument]. Software pro tisk a prohlížení datových souborů pořízených měřicí tramvají. Instalační a uživatelská příručka. 21 stran.
- [9] *Měření parametrů trakčního vedení V6.1VidGPS*. [software]. Software pro měření parametrů trakčního vedení měřicí tramvají.
- [10] KELEMENOVÁ, Tatiana, DOVICA, Miroslav. *Kalibrácia meradiel*. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2016. 232 s. ISBN 978-80-553-3069-3.
- [11] KONVIČNÝ, Josef. *Spolupráce sběrače s trakčním vedením*. [seminář]. Czech-raildays.cz © 2003 [cit. 2023-05-28]. Dostupné z: https://www.czech-raildays.cz/2003/seminare/zi_06.pdf
- [12] CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. (1999). *Meranie technických veličín*. Vydavateľstvo Bratislava: STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [13] ĎURIŠ, S.; PALENČÁR, R.; KNOROVÁ, R. *Metrológia teploty*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013. 165 s. ISBN 978-80-227-4019-7.

ZASEDÁNÍ CEN/TC 19, ROPA A ROPNÉ VÝROBKY PRAHA, 24.-28. DUBNA 2023

Ing. Petr Kříž

Česká strojnická společnost, Centrum technické normalizace



Česká strojnická společnost, z.s., CENTRUM TECHNICKÉ NORMALIZACE, byla v letošním roce organizátorem pravidelného zasedání evropské technické komise CEN/TC 19 Ropa a ropné výrobky, maziva a příbuzné produkty. Tato významná akce na poli standardizace se uskutečnila pod záštitou Ministerstva průmyslu a obchodu udělenou panem ministrem Ing. Jozefem Síkelou. Velký dík patří České agentuře pro standardizaci jako hlavnímu sponzorovi a partnerské organizaci zastřešující toto zasedání z pohledu národního normalizačního orgánu ÚNMZ, stejně jako sponzorům setkání z řad komerčních subjektů, kterými byly firmy provozující středoevropské a české rafinerie, společnosti ORLEN Unipetrol a MOL. Zasedání se uskutečnilo v budově Českého svazu vědeckotechnických společností (ČSVTS) v atraktivním centru Prahy na Novotného lávce v bezprostřední blízkosti Karlova mostu, kde sídlí i Česká strojnická společnost.

Pro zasedání, které se uskutečňuje pravidelně jednou za dva roky, bylo vyčleněno pět jednacích dní. Program zasedání byl zahájen tématy motorových paliv, která představují velmi důležitou část aktivit CEN/TC 19, především v návaznosti na evropskou legislativu zaměřenou na snižování emisí skleníkových plynů.

Zasedání bylo zahájeno v pondělí 24. dubna setkáním zástupců technického fóra se zaměřením na **motorové**



Novotného lávka



Infografika Fit for 55

benziny s vyšším obsahem kyslíku označované jako **TF E10+**, podle druhů motorových benzinů obsahujících vyšší množství kyslíku, a to v přepočtu na ethanol nad 10 % objemu. V návaznosti na právě probíhající revizi evropské směrnice o obnovitelných zdrojích energie (tzv. RED III vůči aktuálně platné RED II), která je součástí legislativního balíčku “Fit for 55” (viz obr.), byl diskutován záměr zavedení výše uvedených benzinů s obsahem kyslíku v přepočtu na ethanol až do výše 20 %, který bude označován E20, tedy analogicky ve smyslu aktuálně platné normy na označování paliv EN 16942+A1. Zavedení tohoto paliva je podporováno všemi rozhodujícími hráči v oblasti paliv, především pak Evropskou asociací výrobců automobilů (ACEA), která má ambiciózní cíl uvedení benzinů s obsahem ethanolu ideálně v přepočtu na 15 až 20 % objemových, avšak bude pravděpodobně akceptováno i dosažení širšího rozmezí 10 až 20 % objemových. Nejpodstatnější technickou položkou návrhu na zavedení benzinu E20 bylo oktanové číslo výzkumnou metodou (RON), kde byl konstatován úmysl zavedení minimálního limitu RON = 98. Tento návrh byl podpořen několika přesvědčivými technickými prezentacemi na téma přínosů RON 98 vs. RON 95 pro spotřebu paliva a pro průběh spalovacího procesu, například prezentací na téma charakteristik předzápalu pro různé druhy paliv. Bylo konstatováno, že pro moderní zážehové motory je možno s palivem specifikovaným minimálním RON = 98 dosáhnout zvýšení účinnosti až o 3 %. Z dalších technických parametrů stojí za zmínku problematika koroze v důsledku většího rizika spojeného s vyšším obsahem ethanolu, kde byl diskutován pozitivní vliv detergentů na tento parametr a dosaženo shody na používání standardu měření korozivních vlastností podle Mezinárodní asociace korozních inženýrů NACE TM 0172.

Druhý a třetí jednací den byly ve znamení programu **pracovních skupin WG 21 a WG 24**. Pracovní skupina **WG 21**,

kteřá se zabývá všeobecně **problematikou bezolovnatých motorových benzinů**, plně podpořila výše uvedené závěry TF E 10+ a nadále bude poskytovat v této oblasti podporu výzkumným pracím na technické požadavky a vlastnosti bezolovnatých benzinů s vyšším obsahem kyslíku a kyslíkatých látek. Samozřejmě zde nejde jen o podporu vyššího obsahu ethanolu jako takového, ale důraz bude kladen i na použití kyslíkatých látek s výhodnými technickými vlastnostmi na bázi etherů, jako je například ETBE. V oblasti ethanolu se skupina aktuálně zabývá revizí technické normy **EN 15691 Ethanol jako složka automobilových benzinů - Stanovení netěkavého podílu (odparku) - Vázková metoda**. Nejdůležitější pracovní položkou skupiny v následujícím období bude **revize aktuálního vydání normy EN 228+A1, která je legislativně zezávazněna pro specifikaci motorových benzinů**. Revize bude provedena především s ohledem na charakteristiky LSPI (předzápal při nízkých otáčkách) a vliv vlastností benzínu na tvorbu pevných částic během spalování. Česká republika připravuje s ohledem na revizi normy EN 228 určité vstupy v oblasti destilačních charakteristik a těkavosti, které jsou v souladu se zájmy našich výrobců, dodavatelů paliv a provozovatelů čerpacích stanic. Z dalších oblastí aktivit WG 21 je třeba určitě zdůraznit přípravu nových norem pro alkylované benziny pro tzv. malé spalovací motory, používané typicky pro zahradní techniku, a to **EN 17867 Alkylované benziny pro malé spalovací motory** připravovanou ve spolupráci s technickou komisí CEN/TC 441 – Označování paliv a **EN 17697 Specifikace bezolovnatých benzinů pro použití v malých motorech**.

V oblasti činnosti **pracovní skupiny WG 24 se zaměřením na motorové nafty** je zcela zásadní pracovní položka revidující normu na legislativně závaznou specifikaci motorové nafty EN 590. Revize je zaměřena především na **řešení zvýšeného opotřebení vstřikovačů nafty v důsledku přítomnosti abrazivních částic**, kde od roku 2017 probíhá dlouhodobý výzkum. Návrh ohledně přítomnosti abrazivních částic aktuálně posuzují výrobci vstřikovačů a výrobci dalších souvisejících zařízení OEM, návrhy měření abrazivních částic se ustavily na použití podle normy Institute of Petroleum IP 630. Dále je v diskusi případné snížení limitu hustoty tak, aby bylo možné použít větších podílů tzv. parafinické motorové nafty, která je řazena mezi syntetická paliva.

Pracovní skupina WG 38 zabývající se alternativními palivy pracuje v úzké návaznosti na instituce EU a je motivována legislativním balíčkem pro snižování emisí Fit for 55. Nejvyšší prioritou je věnována vývoji standardizačních požadavků pro paliva se středním obsahem kyslíku, například v souvislosti s uvedenou problematikou benzinů E20.

Střední prioritou bude věnována rozvoji palivových směsí s obsahem methanolu, které by mohly mít velký dopad na lodní dopravu. Vedlejší prioritou je rozvoj použití DME (dimethylether) jako směsné komponenty pro LPG, tedy zkapalněné uhlovodíkové plyny, především na bázi propanu a butanu. Pozornost se obrací také k zavádění dalších paliv, např. použití amoniaku, jenž může být prakticky aplikovatelný jednodušší cestou než vodík, a dále tzv. OME (oxymethylenether).

Tradiční součástí zasedání byl **odborný seminář pořádaný zástupci** hostitelské země, tedy **České republiky**, tentokrát nazvaný **“Motorová paliva dnes a v budoucnosti”**. Přednášející z Ministerstva průmyslu a obchodu, České vodíkové technologické platformy HYTEP, Svazu chemického průmyslu ČR a zástupci sponzorů ORLEN Unipetrol a MOL přednesli pět zajímavých přednášek na aktuální témata. Kladný ohlas vzbudily všechny přednášky, ať již na téma legislativních rámců pro používání syntetických paliv nebo vodíku, přednášky ohledně strategií rozvoje rafinerií v nových podmínkách nebo přínos standardizace paliv k jejich reálné kvalitě v praxi České republiky.

Poslední dva jednací dny byly tradičně vyhrazeny plenárnímu zasedání CEN/TC 19. Velmi důležitým výstupem ze zasedání je informace z jednání se zástupci Evropské komise (DG CLIMA), která potvrzuje, že do roku 2026 není pravděpodobná změna směrnice specifikující kvalitu motorových paliv (FQD). Plenární zasedání informovalo o spolupráci s řadou institucí, mezi jinými o spolupráci se zrcadlovou komisí ASTM D02 v oblasti mezilaboratorních zkoušek pro obsah FAME ve směsích motorových naft a dále pro obsah aromátů, diaromátů a triaromátů v motorových naftách a syntetických motorových naftách. Vystoupili na něm se svými zprávami zástupci řady spolupracujících organizací, například ATC (Technická komise výrobců aditiv v Evropě), CONCAWE (Asociace evropských rafinerií s environmentálním zaměřením), Methanol Institute, Fuels Sustainable a dalších. Samozřejmě součástí byly též zprávy o činnosti dalších pracovních skupin, a to nejen se zaměřením na paliva, ale také na maziva, které však převyšují rozsah a možnosti tohoto článku. Byla také odhlasována rezoluce o zvýšení frekvence konání zasedání CEN/TC 19 jedenkrát ročně.

Celkem se pro pět jednacích dní zaregistrovalo 89 účastníků z 19 evropských zemí a Turecka. Zasedání mělo velmi pozitivní ohlasy, jak ohledně odborné úrovně, tak i směrem k organizaci. V neposlední řadě účastníci ocenili organizovanou procházku nejatraktivnějšími místy staré Prahy s profesionálním průvodcem.



Český svaz vědeckotechnických společností (ČSVTS)

ve spolupráci se

Světovou federací inženýrských organizací (WFEO)

pořádá

7. ročník World Engineers Convention WEC 2023, který se uskuteční v Praze, hlavním městě České republiky, **ve dnech 9. – 15. října 2023**.

INFORMACE O ČINNOSTI ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ, Z.S. ČKS)

Ing. Jiří Kazda

předseda výboru ČKS

Úvod

České kalibrační sdružení je zájmovým sdružením akreditovaných a autorizovaných laboratoří a dalších zájemců o metrologii, a hlavně o oblast kalibrací pracovních měřidel a ověřování stanovených měřidel. V rámci ČKS působí sekce pro ověřování tachografů. Počet členů sdružení je v současné době 98.

ČKS v prvním pololetí uspořádalo 63. odbornou konferenci ve dnech 25. 4. a 26. 4. 2023, která byla zároveň členskou schůzí spolku. Akce se tentokrát uskutečnila v hotelu Kurdějov.



Členská schůze proběhla dne 25. 4. 2023. Program schůze byl následující:

- volba návrhové komise
- zpráva o činnosti výboru od 61. konference - Ing. Jiří Kazda
- zpráva o hospodaření v roce 2022 – Ing. Robert Ševčík
- zpráva o revizi hospodaření za rok 2022 – Patrik Mück
- plán činnosti ČKS na další období - Ing. Jiří Kazda
- návrh usnesení + schválení

Vlastní odborná konference proběhla v souladu s programem.

První den jednání:

- informace k aktuálnímu dění v působnosti ÚNMZ, Ing. Zbyněk Veselák, ředitel odboru metrologie ÚNMZ,
- současné trendy evropské metrologie a jejich aplikace v ČR, doc. RNDr. Jiří Tesař Ph.D., Generální ředitel ČMI,
- registrace subjektů pro montáž a opravy stanovených měřidel – požadavky, aktuální praxe, plánované změny, Ing. František Staněk, Ph.D., odborný ředitel pro legální metrologii ČMI Brno,
- správná implementace elektronického podpisu v AKL/AMS, Ing. Lukáš Vaněček, Elektronický podpis s.r.o.,
- využití bezdrátových technologií a cloudu pro online monitorování prostředí v kalibračních a zkušebních laboratořích, Čestmír Zeman, COMET SYSTEM, s.r.o.,

- využití moderních technologií v metrologii a řízení kvality, Ing. Jaromír Šebesta, Palstat, s.r.o.,
- kalibrace tlakoměrů – na detailech záležití, Ing. Zdeněk Faltus, BD Sensors.

Druhý den jednání:

- informace o nových aktivitách ČIA, Ing. Martin Valenta, ČIA,
- předpis MP 025 Měřicí převodníky tlaku, postup zkoušení při ověřování, Ing. Václav Sedlák, ČMI Brno,
- akreditace kalibračních laboratoří – vývoj v posuzování, úkolech a dokumentech ČIA, Ing. Martin Valenta, ČIA,
- novinky v technických normách pro měření teploty odporovými snímači teploty a termočlánky ČSN EN IEC 60751, ČSN EN 60584, ČSN EN 61515, Ing. Pavel Urban, JSP, s.r.o.

Sekce tachografů měla také zajímavý program řešící aktuální problémy AMS tachografů.

První den jednání:

- MP 10-23 (změny oproti původnímu předpisu), Ing. Štěpán Mašek, ÚNMZ,
- zkušenosti a praktické poznatky ČMI z prověřování způsobilosti AMS v oblasti tachografů, Lukáš Rutar, ČMI,
- bezpečnost práce řidičů v mezinárodní a vnitrostátní dopravě a její kontrola, Ing. Olga Valášková – inspektor SUIP,
- bezpečnost digitálního tachografu a karet, kryptografie, ochrana dat, Ing. Ondřej Koutník – CDV v.v.i.,
- kontroly PČR a nové způsoby odhalování manipulace pomocí zařízení AMTII, Ing. Aleš Maxa, rada Policejního prezidia.

Druhý den jednání:

- klasifikace porušení nařízení (EU) č. 165/2014, Ing. Jiří Novotný, CDV, v.v.i.,
- asistenční systémy nákladních vozidel (funkce, diagnostika, komunikace s tachografem), Ing. Andrej Haring, Truck consult,
- tachografy Stoneridge, novinky, Ing. Karel Jelínek, Hale Nord Bohemia, Stoneridge,
- nový digitální tachograf DTCO 4.1, Mgr. Jakub Soběslav, Mechanika Teplice v.d.

Konference byla uspořádána s finanční podporou Rady kvality České republiky.

Dále České kalibrační sdružení uspořádalo jednodenní odborný seminář na téma **Praxe v kalibračních laboratořích elektrických veličin** dne 22. 6. 2023 v ITC Zlín s programem:

- vliv uzemnění, ukostření, guardování, svodů, termo- napětí při propojování elektrických přístrojů, Ing. Jana Horská, Ph.D., AKL EG.D,

- praktické řešení nejistot nepřímých měření, Ing. Přemysl Vrba, ITC,
- kalibrace nízkofrekvenčních impedancí, Ing. Stanislav Mašláň, ČMI,
- kalibrace teplotních simulátorů, Ing. Jiří Kazda, ČKS,
- automatizace a evidence kalibrací (Caliber + WinQBase), Ing. Michal Sitta, Ing. Filip Kessner, Meatest Brno,
- kalibrace revizních přístrojů, včetně praktické ukázky. Martin Křenek, MEROS Zubří.

České kalibrační sdružení úzce spolupracuje se slovenským kalibračním sdružením KZSR. Jednou ročně je uspořádáno společné setkání výborů KZSR a ČKS. Tentokrát se organizace ujalo KZSR. Tradičními tématy jsou vyhodnocení spolupráce v minulém období, informace o uspořádaných konferencích a seminářích a informace o činnosti obou výborů. Dále se diskutovaly aktuální problémy v oblasti metrologie, zejména ve vztahu k činnostem akreditovaných kalibračních laboratoří. Na závěr byly stanoveny společné cíle v dalším období (kurzy, semináře, výměna lektorů...), směřování aktivit ČKS a KZSR, odborné zaměření, oživení činnosti. Jako doprovodný program KZSR zajistilo exkurze do firem Jaguar Land Rover Nitra, Matador Automotive Vrable, SECOP Zlaté Moravce a Tacho s.r.o. Vrable (AMS tachografů), kde jsme byli seznámeni s jejich výrobou a s jejich zkušenostmi a kalibračními laboratořemi. Dále byla zorganizovaná prohlídka zámku a vinařských závodů v Topolčiankách. Příští společné setkání bude organizovat ČKS.

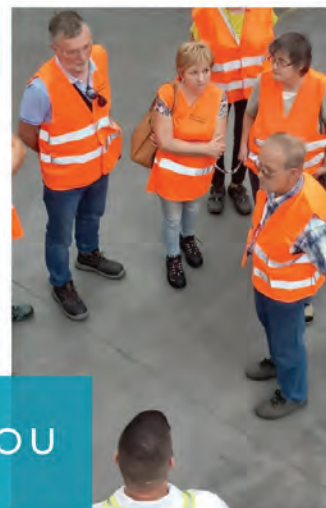
ČKS plánuje ve druhém pololetí roku 2023:

- **seminář „Teploty“** se uskuteční ve dnech 12. a 13. 09. 2023 v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem,
- **64. odborná konference ČKS** uskuteční ve dnech 7. a 8. 11. 2023 také v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.

Podrobná nabídka všech akcí ČKS je upřesňována vždy pro následující pololetí a je trvale k dispozici na webové stránce ČKS, www.cks-brno.cz, e-mail: sekretar@cks-brno.cz. Na těchto stránkách naleznete rovněž další informace a odkazy.



Exkurze do firmy Jaguar Land Rover Nitra



Exkurze do firmy Matador Automotive Vrable

PŘEDMĚT „EXKURZE“ – TÝDEN V ÚSTÍ NAD LABEM

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.
Bc. Samo Majdák, Bc. Adam Michalovič,
Bc. Peter Onderčo, Bc. Andrej Smetánka

Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Strojnická fakulta

Abstrakt

O tom, že metrologie zasahuje do všech oblastí lidské činnosti, není pochyb, a právě tento fakt nám významně přispěl k přípravám i absolvování samotného předmětu „Exkurze“. Začátkem letního semestru 2022/2023 jsme se vypravili do podniků, firem, laboratoří a ústavů působících v oblasti studijního programu „Měření a zkušebnictví“, který je realizován na Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě. Cílem tohoto předmětu je studenty blíže seznámit s měřicí technikou, činností měřicích laboratoří a managementem měření přímo v praxi. Propojování teorie s praxí u našich studentů tentokrát probíhalo v Ústí nad Labem a širokém okolí.



Obr. 1: Účastníci exkurze před závodem ALSTOM v České Lípě

Úvod

Studijní předmět „Exkurze“ je vyučován každoročně v rámci letního semestru, jedná se o jeden z nejoblíbenějších předmětů vůbec. Naši studenti oboru „Měření a zkušebnictví“ pod vedením historicky nejmladšího docenta v oboru metrologie a také „Učitele roku 2022“ této fakulty, doc. Mgr. Ing. Jana Rybáře, Ph.D. ze Strojnické fakulty Slovenské technické univerzity v Bratislavě, vyrazili v termínu od 29. ledna do 5. února 2023 do Ústí nad Labem, aby po týdnu v terénu zjistili, že univerzálnější obor, než je metrologie, měření a zkušebnictví v propojení s kvalitou, nejen ve strojírenství, ale i v jiných odvětvích neexistuje.

Exkurze – ubytování

Z Bratislavy jsme vyrazili vlakem do Ústí nad Labem, kde jsme se ubytovali v penzionu, odkud jsme každý den vyjžděli na jednotlivé exkurze. Jelo nás celkem 7 studentů a 1 pedagogický pracovník (doc. Rybář). Čekalo nás několik zajímavých exkurzí, které vždy souvisely se studovaným oborem.

Exkurze – program

Na první den našeho programu byla naplánována návštěva Fakulty strojního inženýrství Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, kde jsme mohli vidět moderní laboratoře a seznámit se s chodem celé fakulty. Věnoval se nám sám pan proděkan fakulty. Po návštěvě fakulty jsme se přesunuli do Velkého Března, kde následovala prohlídka pivovaru Březňák, ovšem s důrazem na zabezpečení výrobního procesu, měření a monitorování kvality výroby piva; exkurze skončila pivní ochutnávkou. Druhý den jsme se již vypravili do České Lípy do závodu ALSTOM Czech Republic, výrobce kolejových vozidel – viděli jsme tam svařovací a lakovací procesy a dostali příležitost vyzkoušet si interaktivní svařování a lakování. Také jsme navštívili kalibrační laboratoře a vyslechli přednášku na téma zabezpečování kvality v podniku ALSTOM.



Obr. 2: Účastníci exkurze v tepelné elektrárně Ledvice

Ve středu pro nás byla připravena kompletní prohlídka tepelné elektrárny Ledvice. Elektrárnu jsme si prošli od informačního centra, navážku uhlí, kotle, přes dispečink až po chladicí věž, která je zároveň největší vyhlídkovou věží v České republice (145 metrů).

Z Ledvic jsme pokračovali vlakem do Teplíc v Čechách, kde jsme navštívili firmu Mitutoyo a jejich showroom s ukázkou nejmodernější měřicí techniky.

Čtvrtek byl pro nás jedním z nejnáročnějších dnů. Nejenže se nám zkomplikovala cesta kvůli mimořádné události na železniční trati, ale čekal nás také nabitý program. Tento den jsme měli dohodnutou prohlídku zázemí Letiště Václava Havla Praha, a to od letecké techniky, služeb, po hasičskou techniku a údržbovou základnu, včetně samotného odbavení cestujících a navázaných měření na tyto činnosti. Dále nás čekala expozice Muzea pražského vodárenství s unikátní sbírkou vodoměrů. Když už jsme byli v Praze, zvládli jsme také návštěvu Divadla Na Jezerce, kde jsme zhlédli představení „Pánský klub“. Do Ústí nad Labem jsme se vrátili krátce po půlnoci. Páteční program už zahrnoval další výjezdní exkurzi, tentokrát do Karlových Varů. Prohlídku sklárén Moser s návštěvou sklářské hutě následovala velmi zajímavá exkurze po karlovarské lázeňské kolonádě pod taktovkou pracovnice Správy přírodních léčivých zdrojů a kolonád, kde jsme se dozvěděli, jak důležitou úlohu při péči o léčivé prameny sehrává námi studovaný obor. Proběhlo zde i praktické cvičení s měřením obsahu CO_2 pomocí Haertlova přístroje. Po pozdním obědě a před odjezdem zpět do Ústí nad Labem jsme ještě zvládli nahlédnout do továrny a muzea Becherovky, kde se vyrábí světoznámý likér, včetně ochutnávky čtyř nejznámějších vzorků.

Předposlední den exkurze jsme se vypravili do Spolkové republiky Německo, konkrétně do Drážďan, kde jsme si prohlédli historické centrum města a absolvovali návštěvu Dopravního muzea. Poslední den (neděle) naší exkurze jsme

zakončili v Muzeu města Ústí nad Labem, kde jsme si s kurátorem výstavy s výstižným názvem „Flaška“ prohlédli specializovanou sbírku lahví. Spojili jsme tak metrologii s uměním. O prvotním ověření jsme se učili ve škole, odměrné nádoby coby metrologický artefakt v nás však zanechaly údiv před šikovností sklářů a jejich zvládnutím celé technologie výroby lahví. Po návštěvě muzea už následovalo odhlášení v penzionu, oběd a několikahodinový návrat vlakem zpět do Bratislavy.

Závěr

Příspěvek velmi stručně popisuje, jak probíhal předmět „Exkurze“ strávený v Ústí nad Labem, který byl pro studenty Strojnické fakulty Slovenské technické univerzity v Bratislavě povinný v rámci jejich studia. V inženýrské praxi jsme měli možnost vidět širokou škálu různých činností, které jsou úzce propojené s oblastí měření, navíc jsme dokázali naplnit heslo Jana Ámose Komenského „škola hrou“, také jsme poznali nové kraje a k tomu všemu za absolvování této aktivity získali 1 kredit za aktivní účast na předmětu „Exkurze“; no řekněte sami, kdo z vás by se takovéto aktivity během studia nechtěl zúčastnit? „Kdo chce hýbat světem, musí pohnout nejdříve sám sebou.“ (Sókratés). Výsledkem této aktivity bylo stmelení studijního kroužku „supermeračov“, což je jeden z největších benefitů, který tento předmět přinesl.

Poděkování

Děkujeme Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě, že tuto aktivitu podpořila. Zároveň děkujeme všem, které jsme v rámci tohoto předmětu navštívili a kteří nám věnovali svůj čas, aby nám ukázali praxi jejich organizací. Bez jejich přispění bychom nedosáhli tak vysoké míry zefektivnění vzdělávacího procesu. Jen se nám potvrdilo, že metrologie je všude kolem nás, a že Ústí není Praha (jak zaznělo ve filmu „Vrchní, prchní“), i přesto mají Ústí nad Labem, resp. Severní Čechy, rozhodně co nabídnout.



Obr. 3: Teoretická příprava před měřením CO_2 pomocí Haertlova přístroje, Správa přírodních léčivých zdrojů a kolonád, Karlovy Vary

NABÍDKA AKCÍ ČMS na II. pololetí roku 2023



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

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel.: 221 082 254, 606 957 233

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.spolky-csvts.cz/cms



Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
2. říjen 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 599-23	Základy měření ve strojírenství
12. říjen 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 600-23	Nejistoty měření ve strojírenství Způsoby výpočtu nejistoty
16. říjen 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 315	K 602-23	Měření elektrických veličin <i>s praktickými ukázkami</i> <i>kalibrace vybraných měřidel</i>
24. říjen 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 601-23	Měření tvrdosti

Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
6. listopad 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 603-23	Řízení metrologie v organizaci
13. 11. až 16. 11. 2023 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 501	K 604-23	58. základní kurz metrologie
22. listopad 2023 Klub Lávka Novotného lávka 1	K 605-23	23. fórum metrologů
Trvalá nabídka	K 90	Korespondenční kurz metrologie

Nabídka akcí ČMS může být v případě změn aktualizována. Aktuální informace budou zveřejněny na <https://www.spolky-csvts.cz/cms> v menu Odborné akce/ Kalendář akcí ČMS (<https://spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>).

Další informace o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení najdete na webových stránkách ČMS www.spolky-csvts.cz/cms v menu Odborné akce/Kalendář akcí ČMS: <https://spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>.

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

Česká metrologická společnost, z.s. uvítá zájemce o členství v ČMS

- Začínajícím metrologům umožníme s výhodami členství další profesní růst prostřednictvím odborných akcí, které pořádáme.
- Rádi přivítáme také zkušené metrology, kteří by byli ochotni předávat své zkušenosti ostatním „uživatelům“ metrologie v praxi, především formou přednáškové nebo publikační činnosti na akcích pořádaných ČMS.

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Ing. Miroslav Čermák, Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Šárka Kotlíková, Ing. Pavel Nosek, RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Ing. Radek Sedláček, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek. Prizvaní: 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, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2023. 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:

Sluneční hodiny v obci Dobřív u Rokycan

Photo on the front page:

Sundial in Dobřív by Rokycany

