

2/2026
ROČNÍK 35

METROLOGIE

ČASOPIS PRO METROLOGII,
ZKUŠEBNICTVÍ
A TECHNICKOU NORMALIZACI

20 MAY 2026

World Metrology Day

Metrology: Building Trust in Policy Making



s m kg A K cd mol

When decisions are measured, trust follows

Ing. František Jelínek, CSc. Světový den metrologie	1
---	---

METROLOGIE V PRAXI

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D. Ing. Eliška Fialová; Ph.D.; Ing. Josef Vošahlík Aktivitní velikostní distribuce krátkodobých produktů přeměny radonu jako metrologická výzva.....	2
--	---

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Ing. Vítězslav Suchý; Mgr. Dominik Pražák, Ph.D.; Ing. Miroslav Chytil; prof. PhDr. MUDr. Alena Furdová, Ph.D., MPH, MSc., FEBO; doc. MUDr. Jela Valášková, Ph.D., MPH; Bc. Patrik Balaskó Metrologie očních tonometrů v experimentální porovnávací studii.....	5
---	---

Mgr. Helena Kolářová; Ing. Pavel Korčák; Mgr. Vilma Poloučková Ph.D.; prof. RNDr. Jiří Tesař Ph.D. Novinky v metrologickém zajištění magnetické rezonance	10
--	----

ZKUŠEBNICTVÍ

Milan Holomek Plynové sporáky.....	13
--	----

Mgr. Václava Holušová Program rozvoje zkušebnictví v roce 2025.....	16
---	----

INFORMACE

Ing. Michal Vindyš Evropská normalizace a její význam v České republice, úloha České agentury pro standardizaci.....	16
--	----

doc. Ing. Jakub Svatoš, Ph.D. Praha se stane centrem světové metrologie: Pozvánka na konferenci IMEKO TC4 & TC11 v roce 2026	18
---	----

VĚDA A VÝZKUM

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc. Doc. Ing. František Tůma, CSc. Analýza rozptylu a metody mnohonásobných porovnávání jako prostředky vyhodnocení výsledků měření.....	21
--	----

HISTORIE

Ing. František Hnízdil Belgický unikát ve vlámském Lieru	31
--	----

Ing. Petr Holyszewski Trocha historie nikoho nezabije: STIA, THERMON a CALOM.....	34
--	----

Nabídka akcí ČMS

Ing. František Jelínek, CSc. World Metrology Day	1
--	---

METROLOGY IN PRACTICE

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D. Ing. Eliška Fialová; Ph.D.; Ing. Josef Vošahlík The Activity Size Distribution of Short-Lived Radon Decay Products as a Metrological Challenge	2
---	---

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Ing. Vítězslav Suchý; Mgr. Dominik Pražák, Ph.D.; Ing. Miroslav Chytil; prof. PhDr. MUDr. Alena Furdová, Ph.D., MPH, MSc., FEBO; doc. MUDr. Jela Valášková, Ph.D., MPH; Bc. Patrik Balaskó Metrology of Ocular Tonometers in an Experimental Comparative Study.....	5
---	---

Mgr. Helena Kolářová; Ing. Pavel Korčák; Mgr. Vilma Poloučková Ph.D.; prof. RNDr. Jiří Tesař Ph.D. New Developments in MRI Metrology.....	10
---	----

TESTING

Milan Holomek Gas Cookers.....	13
--	----

Mgr. Václava Holušová Testing Development Programme for 2025.....	16
---	----

INFORMATION

Ing. Michal Vindyš European Standardization and Its Significance in the Czech Republic: the Role of the Czech Standardization Agency	16
--	----

doc. Ing. Jakub Svatoš, Ph.D. Prague to Become a Global Hub for Metrology: Invitation to the IMEKO TC4 & TC11 Conference in 2026.....	18
--	----

SCIENCE AND RESEARCH

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc. Doc. Ing. František Tůma, CSc. Analysis of Variance and Multiple Comparison Methods as Tools for Evaluating Measurement Results	21
---	----

HISTORY

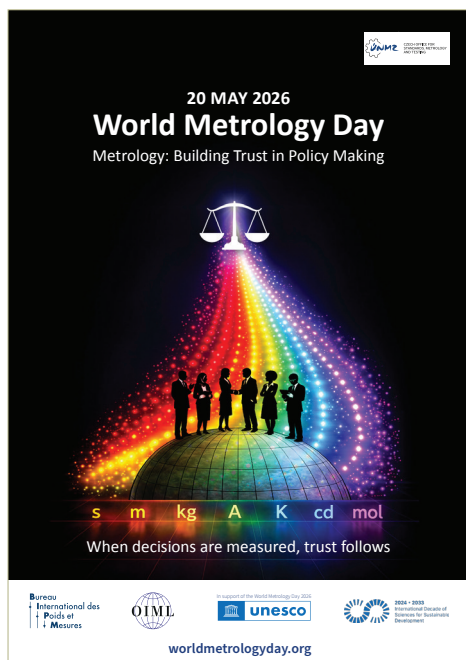
Ing. František Hnízdil A Belgian Curiosity in Lier, Flanders	31
--	----

Ing. Petr Holyszewski A Little History Never Hurt Anyone: STIA, THERMON, and CALOM	34
---	----

The List of ČMS

SVĚTOVÝ DEN METROLOGIE 2026

Ing. František Jelínek, CSc.



Každý rok nabízí Světový den metrologie (SDM) příležitost zamyslet se nad důležitou úlohou měření a nad spoluprací, která umožňuje důvěřovat, porovnávat a spoléhat se na měření po celém světě. V minulých letech byla témata SDM orientována také na konkrétní oblasti měření, například na podporu potravinářství ve světovém měřítku, nebo na měření v oblasti zdravotnictví; využita tak byla příležitost poukázat na význam metrologie v nejrůznějších odvětvích vědecké a hospodářské činnosti. Svým způsobem se z takové volby témat vymykal rok 2025, kdy se oslavovalo 150 let od podpisu Metrické konvence, od doslova přelomové události v rozvoji globální metrologické spolupráci.

V letošním roce zvolil tým připravující oslavu SDM téma, které je hodně obecné a je zaměřené na další rozvoj a uplatňování metrologie.

Téma Budování důvěry v tvorbu politických postupů a zásad (Building Trust in Policy Making) se přímo zabývá vztahem mezi vědou, veřejnou správou a důvěrou, založenou na systematické práci, která umožňuje činit rozhodnutí s jistotou v jejich správnost.

Jako vždy se k tématu SDM vyjádřili ve svých sděleních představitelé vědecké i legální metrologie, ředitelka BIPM Annette Koo a ředitel BIPM Anthony Donnellan. Text je dostupný na stránkách <https://worldmetrologyday.org/> a dále bude citován.

Proč je měření důležité pro budování důvěry při tvorbě politických rozhodnutí.

Spolehlivá měření poskytují podklady, na které se tvůrci zásad a rozhodnutí mohou spolehnout při řešení složitých

výzev – od ochrany veřejného zdraví a zajištění bezpečnosti, přes správu energetických systémů, monitorování životního prostředí až po podporu každodenních tržních transakcí. Když jsou data přesná, srovnatelná a dohledatelná, lze rozhodnutí činit s větší jasností a jistotou.

Důvěra je posilována tehdy, když jsou měření nejen vědecky podložená, ale také aplikována v jasných a předvídatelných právních rámcích. Vědecká metrologie zajišťuje, že měření jsou přesná a srovnatelná napříč hranicemi; legální metrologie zajišťuje, že jsou v praxi aplikována konzistentně a spravedlivě. Společně pomáhají převést politické cíle do praktických ustanovení, která slouží veřejnému zájmu.

Od měření k praxi

Příklady praktického dopadu metrologie na tvorbu zásad a rozhodnutí je jistě mnoho. Zřejmé je to například ve zdravotnictví, kde se metrologické laboratoře podílejí na podpoře diagnostických metod, zkoušení ochranných pomůcek, ale i na podpoře vývoje vakcín. Srovnatelná a dohledatelná data umožňují zdravotnickým orgánům posoudit rizika, hodnotit výsledky a jednat na základě podkladů i v kritickém okamžiku.

Podobně dlouhodobé environmentální monitorování spoléhá na důvěryhodná měření. Mezinárodně srovnatelná měření atmosférických plynů, kvality vody a znečišťujících látek jsou základem dat, která úřady používají ke sledování trendů v čase a k navrhování politik chránících zdraví a přírodní zdroje. Bez důvěry v to, jak jsou tato měření prováděna a porovnávána, by taková rozhodnutí postrádala pevný základ.

Metrologie také stojí za zajišťováním kvality a spravedlivými tržními praktikami. V oblasti bezpečnosti potravin například metrologické programy posílily schopnost zemí měřit kontaminanty, residua a nutriční obsah, což pomáhá úřadům a výrobcům prokázat, že produkty splňují dohodnuté specifikace.

Současné právní metrologické úpravy pomáhají zajistit, že měřicí přístroje používané v obchodě, jako jsou dávkovače paliva, vodoměry a elektroměry, fungují podle očekávání. Když jsou nástroje předmětem odpovídající právní kontroly, posiluje se důvěra nejen mezi producenty a spotřebiteli, ale také mezi veřejnými orgány a komunitami, kterým slouží.

Důvěra budovaná spoluprací

Metrologie je nakonec základem podkladů, které ovlivňují politiku, vytváří rámce, které chrání společnost a podporují ekonomickou a sociální stabilitu. Když jsou měření spolehlivá a konzistentně aplikována, důvěra přesahuje data – až do institucí, dohod a rozhodnutí, která na nich závisí.

Je důležité, aby otevřeně spolupracovaly v uplatňování metrologických údajů orgány státní správy ve všech oborech činnosti. Letošní Světový den metrologie je výzvou pro metrologickou komunitu, aby se zamyslela nad rolí důvěryhodných měření při formování rozhodnutí a uznala spolupráci a společný závazek, které tuto důvěru umožní.

AKTIVITNÍ VELIKOSTNÍ DISTRIBUCE KRÁTKODOBÝCH PRODUKTŮ PŘEMĚNY RADONU JAKO METROLOGICKÁ VÝZVA

Mgr. Petr Otáhal, Ph.D.

Ing. Eliška Fialová, Ph.D.; Ing. Josef Vošahlík

Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany, v. v. i., Milín

Abstrakt

Kalibrační laboratoř SÚJCHBO, v. v. i. působí od roku 2024 v rámci národního metrologického systému jako přídružená laboratoř ČMI (Designated Institute) a zajišťuje metrologickou návaznost a odborné činnosti související s měřením objemové aktivity radonu ve vzduchu, včetně podpory legální metrologie v této oblasti. V České republice se na komerčním měření objemové aktivity radonu podílí více než 100 soukromých subjektů, což klade zvýšené nároky na jednotnost postupů, srovnatelnost výsledků a správnou interpretaci měřených veličin. S rozvojem poznatků v radiační ochraně se do popředí zájmu stále výrazněji dostává problematika krátkodobých produktů přeměny radonu. Právě jejich inhalace představuje dominantní příspěvek k efektivní dávce z této expoziční cesty, zatímco inhalace samotného radonu jako inertního plynu je z hlediska dávkového příspěvku podstatně méně významná. Z metrologického hlediska však veličiny popisující expozici produktům přeměny radonu (např. EOAR/KLE a jejich vazba na aerosolové charakteristiky) dosud nejsou plně začleněny do globální metrologické infrastruktury srovnatelné s metrologií radonu. Současně je patrný trend, kdy renomované metrologické laboratoře v zahraničí začínají rozvíjet technické prostředky a metodiky umožňující vytvořit metrologickou návaznost i pro tyto veličiny, které jsou klíčové pro hodnocení expozice a optimalizaci radiační ochrany. Z uvedených důvodů se Kalibrační laboratoř SÚJCHBO, v. v. i. dlouhodobě zaměřuje na studium chování krátkodobých produktů přeměny radonu v ovzduší a na ověřování měřicích postupů umožňujících co nejpřesnější stanovení veličin spojených s touto expoziční cestou. Důraz je kladen zejména na vazbu mezi produkty přeměny radonu a celkovou koncentrací a velikostní distribucí aerosolových částic, které významně ovlivňují výsledný konverzní faktor potřebný k převodu objemové aktivity směsi těchto radionuklidů na efektivní dávku.

Klíčová slova: radon; produkty přeměny radonu; EOAR; KLE; volná frakce; kaskádní impaktor; difuzní baterie; metrologie; dozimetrie

1. Úvod

Produkty přeměny radonu (^{222}Rn) představují hlavní expoziční cestu z přírodního ozáření, protože rozhodující část efektivní dávky je spojena s depozicí krátkodobých přeměnových produktů v dýchacím traktu, nikoli s inhalací samotného radonu jako plynu. Kvantifikace expozice prostřednictvím ekvivalentní objemové aktivity radonu (EOAR/EEAC) nebo koncentrace latentní energie (KLE/PAEC) je pro metrologii radonu dobře etablovaná, avšak aktivitní velikostní

distribuce produktů přeměny radonu (RnDP) je v praxi obtížně dostupným parametrem. Článek shrnuje metrologické souvislosti aktivitní velikostní distribuce RnDP a představuje laboratorní validaci kombinované metody založené na kaskádním impaktoru Dekati ELPI+, stopové dozimetrii a difuzní baterii typu Graded Screen Array. Metoda umožňuje stanovit EOAR v jednotlivých velikostních třídách a rozšířit pokrytí na oblast volné frakce. Z hlediska metrologie jsou diskutovány kalibrační vazby, pracovní rozsah metody, saturace detektorů a doporučení pro přenos do terénních podmínek.

Krátkodobé produkty přeměny radonu (z pohledu radiační ochrany jsou nejvýznamnější ^{218}Po a ^{214}Po , protože se jedná o alfa zářiče) vznikají rozpadem radonu v ovzduší a rychle přecházejí do aerosolové fáze. Nově vzniklé radionuklidy tvoří během zlomků sekundy shluky o velikosti v řádu jednotek nanometrů (tzv. volná frakce). Tyto shluky se v řádu sekund až desítek sekund vážou na existující aerosoly (tzv. vázaná frakce).

Z hlediska radiační ochrany je klíčové, že téměř celý plicní příspěvek k dávce je způsoben inhalací aerosolových dceřiných produktů radonu a nikoli radonem jako plynem, přičemž alfa emise ^{218}Po a ^{214}Po dominují dávce v plicní tkáni. Aktivitní velikostní distribuce proto přímo ovlivňuje depozici v jednotlivých anatomických oblastech dýchacího traktu a výslednou dávku.

2. Veličiny používané v metrologii produktů přeměny radonu

V praxi se expozice krátkodobým produktům přeměny vyjadřuje zejména prostřednictvím EOAR (ekvivalentní objemová aktivita radonu; $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) a/nebo KLE (koncentrace latentní energie; $\mu\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$). Obě jednotky jsou vzájemně přepočitatelné a jsou jedněmi z hlavních kvantifikátorů umožňujících popis koncentrace produktů přeměny v dýchaném vzduchu.

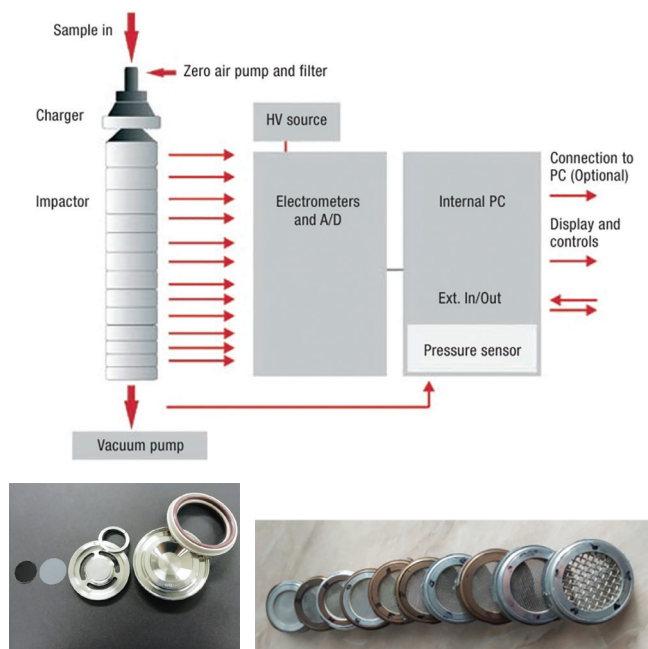
Pro metrologickou návaznost je zásadní, že EOAR/KLE představují integrální charakteristiku směsi RnDP, zatímco aktivitní velikostní distribuce rozděluje tuto integrální veličinu do velikostních tříd. Tím se otevírá možnost zpřesnit dávkové konverzní faktory v prostředích s atypickým aerosolovým režimem (např. podzemní pracoviště, vysoce ventiloované prostory, čisté laboratoře), kde se může významně měnit podíl volné frakce.

3. Přehled přístupů ke stanovení aktivitní velikostní distribuce

Aktivitní velikostní distribuci lze v principu stanovit kombinací dvou komplementárních technik: (i) kaskádní impaktor pro oblast vázané frakce (řádově desítky nanometrů až jednotky mikrometrů) a (ii) difuzní baterie pro oblast volné frakce (0,3 až 100 nanometrů). Historicky



byly používány specializované systémy kombinující impaktor a difuzní baterii; moderní přístup využívá komerčně dostupná zařízení a doplňuje je radio-nuklidově citlivou detekcí na jednotlivých stupních.



Obr. 1: Kaskádní impaktor Dekati ELPI+ a jeho schematický popis (nahore); dokompletovaná impakční plocha se stopovým detektorem a brzdící folií (vlevo dole); difuzní baterie (vpravo dole)

4. Laboratorní validace kombinované metody (ELPI+ a difuzní baterie)

Laboratorní ověření metodiky bylo provedeno v kontrovaných podmínkách testovací místnosti se samostatným zdrojem radonu z podloží a s možností řízené výměny vzduchu. Pro zajištění reprodukovatelnosti byly po každé změně aerosolové atmosféry dodrženy stabilizační časy a odběry probíhaly v centrální části prostoru, aby se minimalizoval vliv okrajové vrstvy.

Kaskádní impaktor Dekati ELPI+ byl provozován v režimu bez koronového nabíjení. V tomto režimu poskytuje 14 depozičních stupňů v rozsahu přibližně 17 nm až 10 μm při jmenovitém průtoku 10 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$. Na jednotlivých impakčních stupních byly umístěny stopové detektory, které po chemickém zpracování umožňují stanovit hustotu stop odpovídající EOAR v dané velikostní třídě.

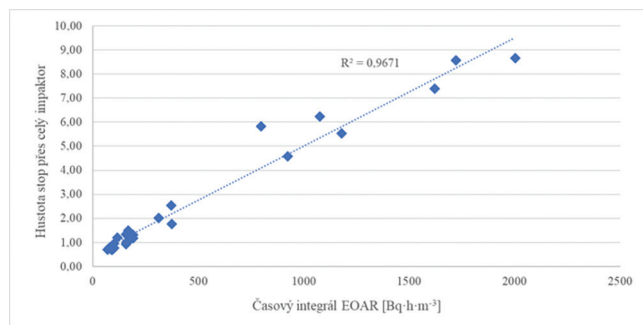
Vzhledem k energetické selektivitě použitého stopového detektoru (citlivost typicky v pásmu 1–3 MeV) je nutné snížit energii alfa částic z krátkodobých RnDP pomocí brzdící fólie. Na základě výpočtů a tabulkových hodnot doletu alfa částic byla zvolena brzdící fólie Mylar o tloušťce 50 μm , která poskytl vhodný kompromis mezi citlivostí a rozsahem použití.

Pro oblast volné frakce byla do metodiky začleněna difuzní baterie typu Graded Screen Array (GSA DB) pokrývající rozsah přibližně 0,3 nm až 100 nm.

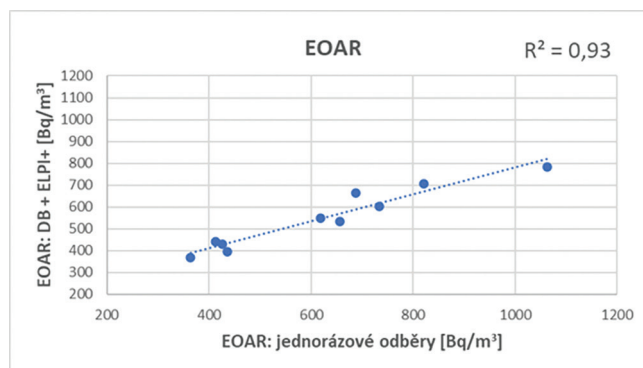
Současně byly referenčně stanovovány hodnoty EOAR a volné frakce f_p jednorázovými odběry vzdušiny (grab sampling) s využitím dvoukanalových alfa spektrometrů a definovaným průtokem 20 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$. Výsledky jednorázových odběrů EOAR a f_p jsou pravidelně porovnávány s externím referenčním pracovištěm (Bfs Berlín).

5. Metrologické parametry metody: kalibrace, pracovní rozsah a nejistoty

Pro metrologické použití je rozhodující kalibrační vazba mezi (i) časovým integrálem EOAR získaným referenční metodou (grab sampling) a (ii) celkovou hustotou stop (součet přes všechny impakční stupně). V laboratorních experimentech byla prokázána dobrá shoda v pracovním rozsahu časových integrálů EOAR řádově 50 až 2000 $\text{Bq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$. Klíčovým omezením stanovení hustoty stop je saturace detektoru: při časovém integrálu přibližně nad 2,5 $\text{kBq} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ dochází ke slévání stop a vyhodnocení se stává nespolehlivým.



Obr. 2: Závislost hustoty stop na časovém integrálu EOAR. Korelační křivka byla použita pro výpočet celkové EOAR stanovené pomocí kaskádního impaktoru a k porovnání takto získané hodnoty s časovým integrálem EOAR měřeným metodou jednorázového odběru vzorku.

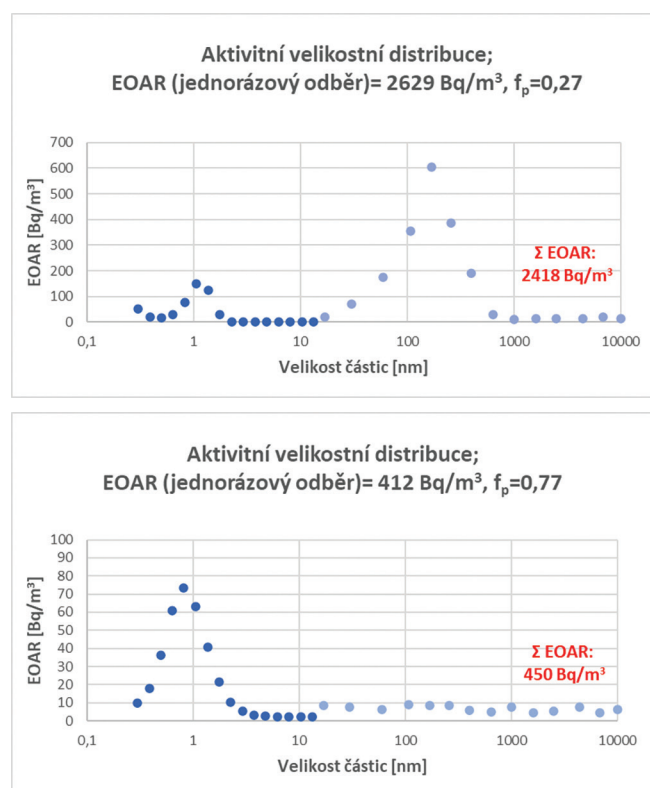


Obr. 3: Závislost stanovení celkové EOAR přes všechna patra kaskádního impaktoru a difuzní baterie a stanovení EOAR pomocí jednorázových odběrů vzdušiny.

Z praktického hlediska to znamená, že pro terénní aplikaci je nutné (i) předem odhadnout úroveň EOAR, (ii) adaptivně volit dobu odběru tak, aby nedošlo k přesycení stopových detektorů, a (iii) naopak při nízkých úrovních EOAR prodlužovat odběr pro snížení statistické složky nejistoty. Mezi

hlavní zdroje nejistoty patří průtok, doba odběru, pozadí stopových detektorů a homogenita aerosolové atmosféry.

Validace metody zahrnovala i porovnání s numerickou velikostní distribucí aerosolů měřenou pomocí SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer). Pro srovnání byla využita konverze mezi mobilitním a aerodynamickým průměrem s využitím hustoty částic. Výsledky ukázaly, že shoda geometrických středních průměrů je limitována šířkou a počtem velikostních kanálů jednotlivých přístrojů.



Obr. 4: Příklady reálného stanovení aktivní velikostní distribuce RnDP pomocí kaskádního impaktoru (světle modrá) a difuzní baterie (tmavě modrá)

6. Perspektiva: přenos do praxe a význam pro národní a mezinárodní metrologii

Aktivní velikostní distribuce RnDP je v metrologii radonu a zejména v radiační ochraně klíčovým chybějícím článkem mezi standardními měřeními radonu/EOAR a realistickým odhadem dávky v konkrétních pracovních atmosférách. Kombinace kaskádního impaktoru se stopovou detekcí a difuzní baterie umožňuje popsat celé velikostní spektrum (zastoupení volné a vázané frakce) a poskytuje podklad pro zpřesňování konverzních koeficientů pro stanovení efektivní dávky.

Z metrologického pohledu se jedná o oblast, která vyžaduje harmonizaci metodik, systematické mezilaboratorní porovnávání a zajištění návaznosti jak pro integrální veličiny EOAR/KLE, tak pro jejich rozložení do velikostních tříd. Institucionální ukotvení kalibrační laboratoře SÚJCHBO jako Designated Institute vytváří předpoklad pro zapojení do evropských a mezinárodních struktur (EURAMET, BIPM) a pro budoucí koordinaci metrologických aktivit v oblasti radonu a jeho přeměnových produktů.

7. Závěr

- Produkty přeměny radonu jsou dominantní příčinou efektivní dávky z inhalační expoziční cesty; aktivní velikostní distribuce je proto pro stanovení efektivní dávky z inhalace této noxy rozhodující.
- Kombinace kaskádního impaktoru se stopovými detektory (17 nm–10 μ m) a difuzní baterie (0,3–100 nm) umožňuje stanovení velikostní distribuce RnDP v celém velikostním rozsahu (volná i vázaná frakce).
- Pracovní rozsah laboratorně ověřené metody je omezen zejména možnou saturací stopových detektorů při vyšších integrálech EOAR; v terénu je nutné adaptivní přizpůsobení doby odběru.
- Metoda vytváří metrologický základ pro budoucí zpřesnění dozimetrických převodů a pro harmonizaci měření RnDP v mezinárodním měřítku.

Literatura

- [1] Fialova E., Otahal P. PS. Determination of the Radon Progeny Activity Size Distribution in Laboratory Conditions. *Atmosphere* 2024, 15, 1262. doi: 10.3390/atmos15111262.
- [2] Otahal P. PS, Fialova E. Determination of the Radon Progeny Activity Size Distribution at Different Types of Workplaces. *Journal of Environmental Radioactivity* 2025, 289, 107781. doi: 10.1016/j.jenvrad.2025.107781.
- [3] Porstendörfer, J. Physical parameters and dose factors of the radon and thoron decay products. *Radiation Protection Dosimetry* 2001, 94, 365–373. doi: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006512.
- [4] Harrison, J. D.; Marsh, J. W. Effective dose from inhaled radon and its progeny. *Annals of the ICRP* 2012, 41, 378–388. doi: 10.1016/j.icrp.2012.06.012.
- [5] ICRP (1994). Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, vol. 24. ICRP Publication 66. Nos 1-3 1994. ISSN 0146-6453.
- [6] ICRU (1993). Stopping Powers and Ranges for Protons and Alpha Particles. International Commission on Radiation Units. Report No. 49. Bethesda, MD, USA.
- [7] ICRU (2015). Measurement and reporting of radon exposures. International Commission on Radiation Units. Report No. 88. ISSN 1742-3422.
- [8] Solomon, S. B. Manual for Radon Progeny Particle Size Spectrometer (RPPSS). ARPANSA, 1999.
- [9] Kesten, J.; Butterweck, G.; Porstendörfer, J.; Reineking, A.; Heymel, H. J. An online α -Impactor for Short-Lived Radon Daughters. *Aerosol Science and Technology* 1993, 18, 156–164. doi: 10.1080/02786829308959591.
- [10] Järvinen, A., Aitomaa, M., Rostedt, A., Keskinen, J. & Yli-Ojanperä, J. 2014. Calibration of the new electrical low pressure impactor (ELPI+). 2014 *J. Aerosol Sci.* 69, pp. 150-159. doi: 10.1016/j.jaerosci.2013.12.006.

METROLOGIE OČNÍCH TONOMETRŮ V EXPERIMENTÁLNÍ POROVNÁVACÍ STUDII

doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.¹;
Ing. Vítězslav Suchý²; Mgr. Dominik Pražák, Ph.D.³;
Ing. Miroslav Chytil⁴; prof. PhDr. MUDr. Alena
Furdová, Ph.D., MPH, MSc., FEBO⁵;
doc. MUDr. Jela Valášková, Ph.D., MPH⁵;
Bc. Patrik Balasko⁶

¹*Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Strojnická fakulta*

²*Český metrologický institut, Oblastní inspektorát Most*

³*Český metrologický institut, Oblastní inspektorát Brno*

⁴*Slovenský metrologický ústav v Bratislavě*

⁵*Univerzitní nemocnice Bratislava – Nemocnice Ružinov & Univerzita Komenského v Bratislavě, Lékařská fakulta*

⁶*Univerzita Komenského v Bratislavě, Fakulta tělesné výchovy a sportu*

Abstrakt

Měření nitroočního tlaku je zásadní pro diagnostiku a sledování glaukomu. I přes technologický pokrok zůstává klíčové zajištění metrologické návaznosti a objektivní ověření přesnosti těchto systémů. Důležitou roli zde hrají referenční etalony, které umožňují kontrolu správnosti měření a porovnání různých přístrojů i metod. Musí splňovat požadavky stability, opakovatelnosti a návaznosti na mezinárodně uznávané standardy. Studie se zaměřuje na experimentální porovnání dvou přístupů k realizaci těchto referenčních systémů. Výsledky ukazují, že systematický metrologický přístup je nezbytný pro správnou interpretaci klinických dat a že vhodně navržené referenční struktury zvyšují spolehlivost i porovnatelnost měření v oftalmologii.

Klíčová slova: experimentální porovnání, metrologie, nitrooční tlak, oční tonometrie, referenční etalony

Úvod

Pro metrologii představuje měření nitroočního tlaku [1] specifický problém, v němž je nezbytné zajistit jednoznačnou návaznost na definované veličiny a stabilní referenční rámec. Bez této návaznosti nelze garantovat porovnatelnost výsledků napříč různými typy očních tonometrů ani jejich klinickou interpretovatelnost. Hlavní roli v tomto procesu hrají etalonová zařízení, která umožňují realizaci kontrolovaných podmínek měření a poskytují prostředek pro objektivní ověření metrologických charakteristik přístrojů. Jejich vývoj a validace představují zásadní předpoklad pro standardizaci tonometrických metod a zvýšení spolehlivosti získaných dat. [2; 3]

Zvláštní význam mají modely oka, které musí věrně reprodukovat relevantní fyzikální a geometrické vlastnosti biologického systému. Současně je nutné, aby tyto referenční struktury vykazovaly vysokou míru stability, opakovatelnosti a dlouhodobé reprodukovatelnosti odezvy. [2]

Předložená porovnávací studie se proto zaměřuje na systematický výzkum a experimentální validaci etalonových systémů pro oční tonometrii. Cílem je posílit metrologické

základy měření nitroočního tlaku a přispět ke zvýšení přesnosti i porovnatelnosti výsledků v oftalmologické praxi mezi pracovišti.

Metrologický rámec problematiky

Metrologie očních tonometrů vychází z obecného principu zajištění návaznosti měření na definované a mezinárodně uznávané jednotky soustavy SI, v našem případě na hmotnost. V kontextu měření nitroočního tlaku je důležité, aby celý měřicí řetězec – od fyzikální realizace veličiny až po výstup přístroje – byl jednoznačně navázaný a kvantifikovatelný z hlediska nejistoty měření. Bez této návaznosti nelze zajistit porovnatelnost výsledků mezi různými typy tonometrů ani mezi jednotlivými klinickými pracovišti.

Zásadní roli v metrologickém rámci hrají referenční etalony, konkrétně silikonové oči a etalonové zařízení s modelovým okem, které slouží jako prostředek pro realizaci a ověřování měřicích podmínek. V oblasti oční tonometrie jsou tyto etalony nejčastěji reprezentovány modely oka, které simulují mechanické a geometrické vlastnosti lidského oka, zejména jeho odezvu na působící tlak. Kvalita těchto etalonů přímo ovlivňuje validitu experimentálních výsledků, neboť určují úroveň, na které je možné posuzovat správnost a shodu měření.

Konstrukce těchto etalonů [4] by měla respektovat požadavky na stabilitu, reprodukovatelnost a definovanou odezvu na zatěžování. Důležitým aspektem je také minimalizace hysterezních jevů a zajištění dlouhodobé neměnnosti parametrů, které by mohly ovlivnit kalibrační proces. V ideálním případě by etalonové oko mělo vykazovat chování blízké biologickému systému, avšak s přesně definovanými a kontrolovatelnými vlastnostmi.

Metrologický rámec dále zahrnuje problematiku nejistoty měření, která je v případě tonometrie ovlivněna jak vlastnostmi samotného přístroje, tak i interakcí s referenčním prostředím. Identifikace a kvantifikace jednotlivých složek nejistoty je nezbytná pro správnou interpretaci výsledků a jejich následné klinické využití. Zvláštní důraz je kladen na opakovatelnost měření a reprodukovatelnost mezi různými etalonovými konfiguracemi. [5]

V neposlední řadě je třeba zdůraznit význam standardizace postupů, která umožňuje porovnání výsledků napříč laboratorními i klinickými podmínkami. Implementace jednotných metrologických principů v oblasti oční tonometrie tak představuje nezbytný předpoklad pro zajištění vysoké úrovně spolehlivosti a objektivity diagnostických metod v oftalmologii.

Objekt zájmu metrologické kontroly

Objektem metrologické kontroly v rámci této studie je bezkontaktní oční tonometr jako přístroj s měřicí funkcí určený pro stanovení nitroočního tlaku. Z metrologického hlediska se nejedná pouze o samotný senzorický prvek, ale

o celý měřicí řetězec zahrnující generaci zátěžné veličiny, interakci s očním médiem (resp. jeho modelem) a vyhodnocovací část přístroje.

Hodnocení je zaměřeno na funkční vlastnosti tonometru v definovaném referenčním prostředí, které je realizováno pomocí etalonu – silikonové oči nebo etalonové zařízení s modelovým okem. Uvedené umožňuje kontrolované a opakovatelné podmínky zatěžování, čímž vytváří základ pro objektivní posouzení metrologických charakteristik přístroje.

Předmětem sledování jsou zejména parametry ovlivňující správnost a stabilitu měření, tedy shoda odezvy při opakovaném zatížení, citlivost na změny mechanických vlastností referenčního systému a schopnost reprodukovat výsledky v rámci definovaných podmínek. Současně je sledována i míra odchylky mezi jednotlivými měřicími konfiguracemi a etalonovými realizacemi.

Tento přístup umožňuje chápat bezkontaktní oční tonometr jako metrologický objekt, jehož vlastnosti lze kvantifikovat, porovnávat a validovat v rámci experimentálně definovaného referenčního rámce.

Principy návaznosti v medicínské metrologii

Etalon (standard) představuje míru, měřidlo, referenční materiál nebo měřicí systém určený k definování, realizaci či reprodukování jednotky jedné nebo více veličin. Je proto důležité dbát na principy metrologické návaznosti vzhledem k výsledné hodnotě. Výsledná hodnota je vždy vztažena k referenci vyšší úrovně, až po základní jednotky soustavy SI.

Ve zdravotnictví, které je interdisciplinárním oborem zaměřeným na ochranu a rozvoj zdraví populace, je zajištění metrologické návaznosti důležitým předpokladem pro správnou diagnostiku a léčbu. Týká se to celé řady měření, například krevního tlaku, tělesné teploty, sluchu, radiační zátěže či nitroočního tlaku. Správný metrologický přístup zahrnuje nejen kvalitní měřidla, ale i odpovídající metodiku, kalibraci a odborně vyškolený personál. V oblasti oftalmologie je významné měření nitroočního tlaku, které je zásadní pro prevenci glaukomu. Zde se využívají specifické etalony a etalonová zařízení, přičemž metrologická návaznost nemusí být vždy přímo odvozena od jednotek SI, ale může mít odlišný charakter oproti klasické metrologii. [3; 6]

Tabulka 1 znázorňuje rozdíly mezi návazností v klasické a medicínské metrologii, přičemž medicínská metrologie je rozdělena do tří kategorií podle charakteru měření a dostupnosti etalonů. V klasické metrologii je návaznost hierarchicky uspořádána od primárních etalonů přes referenční a pracovní etalony až po samotná měřidla. Naproti tomu v medicínské metrologii se v kategorii I uplatňuje obdobná struktura jako v klasické metrologii, tedy s využitím primárních, referenčních i pracovních etalonů. Kategorie II již reflektuje specifika biologických systémů, kdy místo primárních etalonů slouží databáze fyziologických signálů a referenční úroveň je zajištěna pomocí zkušebních zařízení či generátorů s klasickou návazností, případně transfer standardů. V kategorii III pak návaznost vychází především

z klinické praxe, kde právě pozici nejvyšší reference přebírají klinicky hodnocená měřidla a výsledky klinických zkoušek. Ve všech kategoriích však zůstává společným prvkem konečné měřidlo, které je používáno v praxi, přičemž způsob zajištění jeho návaznosti se liší podle povahy měřené veličiny a možností její standardizace. [3; 6]

Tab. 1: Metrologická návaznost v medicínské metrologii. [6]

Metrologická návaznost v klasické metrologii (fyzikální jednotky soustavy SI)	Metrologická návaznost v medicínské metrologii		
	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III
Primární etalony	Primární etalony	Databáze fyziologických signálů	Klinicky hodnocené měřidlo, klinická zkouška
Referenční etalony	Referenční etalony	Zkušební zařízení, generátor (s klasickou návazností)	Transfer standard (s klasickou návazností)
Pracovní etalony	Pracovní etalony		
Měřidlo	Měřidlo	Měřidlo	Měřidlo

Porovnávání etalonů – silikonové oči a etalonové zařízení s modelovým okem

Tonometrie představuje z hlediska medicínské metrologie jednu z hlavních diagnostických metod v oftalmologii, neboť umožňuje kvantifikaci nitroočního tlaku jako zásadní veličiny při detekci a monitorování glaukomových onemocnění. Glaukom je ve své podstatě chronické onemocnění často asociované s oční hypertenzí, která se vyznačuje dlouhodobým asymptomatickým průběhem, avšak s potenciálně závažnými důsledky v podobě ireverzibilního poškození zrakového nervu a postupné ztráty zraku. Proto je nezbytné klást důraz nejen na samotné měření, ale především na jeho přesnost, reprodukovatelnost a návaznost na definované etalony. Hodnota nitroočního tlaku totiž představuje rozhodovací parametr s přímým dopadem na klinickou praxi, zejména při indikaci léčby a hodnocení její účinnosti. [1; 7]

V této souvislosti nabývá na významu využití etalonů v této oblasti, které umožňují realizovat metrologicky podloženou simulaci nitroočního tlaku na základě fyzikálně jednoznačně definovaných principů, jedná se především o silikonové oči (a) a etalonové zařízení s modelovým okem (b).

a) Silikonové oči (**obr. 1**) představují v oblasti medicínské metrologie jeden z nejčastěji využívaných etalonů pro ověřování očních tonometrů, a to zejména díky své jednoduchosti, rychlé aplikovatelnosti a dostupnosti v rutinní metrologické praxi. Každá sada silikonových očí je specifická, přičemž jednotlivé modely odpovídají předem definovaným hodnotám nitroočního tlaku vyjádřeným v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg).

Tvarově tyto oči aproximují „ideální“ lidské oko, nicméně jejich mechanické vlastnosti, zejména deformační chování, se od skutečné biologické tkáně liší. Přesto jsou dostatečně reprezentativní pro účely ověřování funkčnosti a přesnosti tonometrů. Významným omezením je však skutečnost, že silikonové oči nejsou univerzální – pro různé typy a výrobce tonometrů je často nutné používat odlišné sady etalonů. Dále je nezbytné sledovat vlastnosti použitého materiálu, zejména jeho stárnutí a změny mechanických parametrů v čase, které mohou ovlivnit výsledky měření. V rámci metrologické kontroly musí tonometr splňovat požadovaná kritéria přesnosti pro všechny testované hodnoty tlaku, což klade důraz na správný výběr i údržbu těchto etalonů. [8]



Obr. 1: Silikonové oči umístěné na bezkontaktním očním tonometru během experimentů. Zdroj: Vlastní.

b) Etalonové zařízení s modelovým okem (**obr. 2**) představuje pokročilý přístup k realizaci etalonu pro měření nitroočního tlaku. Na rozdíl od jednoduchých silikonových očí, které reprezentují pouze diskrétní hodnoty tlaku, toto zařízení umožňuje kontinuální a přesně řízenou simulaci nitroočního tlaku na základě fyzikálně definovaných principů. Konstrukčně se skládá z výškově nastavitelného mechanismu, modelového oka s vyměnitelnou umělou rohovkou, skleněného pístu vytvářejícího vodní sloupec, resp. generátoru tlaku, manometru a soustavy propojení zajišťující uzavřený systém. Generování tlaku je realizováno s přímou návazností na základní jednotku soustavy SI – kilogram. Významnou výhodou tohoto etalonového zařízení je jeho variabilita a schopnost simulovat široký rozsah nitroočních tlaků, včetně možnosti měnit tloušťku a vlastnosti umělé rohovky. Tím lze lépe aproximovat biomechanické chování lidského oka a zároveň analyzovat vliv rohovky na výsledky měření tonometrů. Oproti klasickým silikonovým očím, jejichž využití je často omezeno na konkrétní typy přístrojů, nabízí modelové oko vyšší míru univerzálnosti a metrologické objektivitu. Zařízení splňuje vysoké nároky na přesnost a reprodukovatelnost měření. Přestože zatím není běžně implementováno v rutinní

praxi, jeho další vývoj naznačuje významný potenciál pro budoucí využití jako referenční etalon při kalibraci a ověřování očních tonometrů. [8]



Obr. 2: Etalonové zařízení s modelovým okem umístěné na bezkontaktním očním tonometru během experimentů. Zdroj: Vlastní.

Pro medicínskou metrologii představují oční tonometry specifickou skupinu měřidel, u nichž je nutné respektovat jak fyzikální principy měření, tak i komplexní biomechanické vlastnosti měřeného objektu. V současné klinické praxi se využívá několik základních typů tonometrů, které se liší nejen konstrukčním řešením, ale především principem stanovení nitroočního tlaku a s tím souvisejícími metrologickými charakteristikami. [6; 9]

Aplanační tonometry jsou dlouhodobě považovány za referenční metodu, přičemž jejich funkce je založena na principu oploštění rohovky definovanou silou. Typickým představitelem je Goldmannův aplanační tonometr, jehož výsledky tvoří základ pro porovnávací měření i klinickou interpretaci. Metrologická výhoda této metody spočívá v relativně dobře definovaném vztahu mezi aplikovanou silou a výslednou hodnotou tlaku, ačkoliv i zde vstupují do procesu měření vlivy spojené s vlastnostmi rohovky. Tato metoda se využívá při klinickém testování bezkontaktních očních tonometrů podle normy ČSN EN ISO 8612, které podstoupil i náš sledovaný bezkontaktní oční tonometr, na kterém proběhla i experimentální porovnávací studie. [10]

Bezkontaktní tonometry představují technologicky pokročilejší alternativu, která eliminuje přímý kontakt s okem, a tím i některé zdroje systematických chyb. Princip měření je založen na deformaci rohovky vzduchovým impulzem, přičemž určující veličinou je časový interval mezi iniciací

Tab. 2: Porovnání silikonových očí a etalonového zařízení s modelovým okem jako etalonů pro oční tonometry.
Zdroj: [8; 12], vlastní zpracování.

Typ etalonu	Princip realizace tlaku	Metrologická návaznost	Simulace oka	Výhody	Omezení
Silikonové oči	Diskrétní tlakové hodnoty (mmHg)	Omezená	Střední	Jednoduchost, rychlé ověření	Stárnutí materiálu, závislost na typu tonometru, nízká univerzálnost
Etalonové zařízení s modelovým okem	Kapalinový sloupec, píst, závaží (I. generace); generátor tlaku (II. generace)	Přímá (SI – kilogram)	Vysoká	Vysoká přesnost, reprodukovatelnost, variabilita parametrů	Vyšší konstrukční složitost, stárnutí materiálu, avšak možnost výměny umělé oční rohovky

pulzu a dosažením definovaného stavu aplanace. Tento přístup klade zvýšené nároky na přesnost časoměrných systémů a reprodukovatelnost generovaného tlakového pole, což představuje významnou metrologickou výzvu. V dané oblasti také proto, že většina nejnovějších přístrojů dokáže měřit celou řadu oftalmologických veličin, které nejsou metrologicky zabezpečené a představují další výzkumné výzvy.

Experimentální porovnání

V oblasti měření nitroočního tlaku je důležité zajištění metrologické návaznosti, tedy jednoznačného propojení výsledků měření s referenčními veličinami prostřednictvím metrologického řetězce. Etalon zde představuje referenční realizaci veličiny s definovanou hodnotou a nejistotou, která slouží k objektivnímu ověřování tonometrů. [9; 11]

V praxi mají etalonová zařízení podobu oka, schopného reprodukovat nitrooční tlak a současně aproximovat základní fyzikální a mechanické vlastnosti rohovky. Kvalita těchto etalonů zásadně ovlivňuje správnost a srovnatelnost měření. Z tohoto důvodu je experimentální porovnání různých typů etalonů nezbytným krokem k posouzení jejich metrologické vhodnosti a k dalšímu zpřesňování měření v oftalmologii. Realizovaný experiment zahrnoval silikonové oči a etalonové zařízení s modelovým okem. [8]

Provedené experimentální porovnání (**tabulka 2**) silikonových očí a etalonového zařízení s modelovým okem prokázalo, že modelové oko II. generace vykazuje vyšší přesnost a nižší nejistoty měření, což potvrzuje jeho potenciál jako univerzálního etalonu. Naopak silikonové oči zůstávají zatíženy omezenou standardizací, variabilitou mechanických vlastností a závislostí na konkrétním typu tonometru. Experimentální výsledky uvedené v **tabulce 3** a **tabulce 4**, získané na tonometru NIDEK NT-2000 po klinické zkoušce a kontrolované na tonometru Topcon CT-60, dokumentují tyto rozdíly a poukazují na přínos inovovaných etalonů pro zvýšení spolehlivosti metrologické kontroly v oftalmologii.

Metrologické porovnání etalonů pro oční tonometry (**obr. 3**) je zásadní pro objektivní posouzení správnosti,

spolehlivosti a reprodukovatelnosti měření nitroočního tlaku. Realizovaná experimentální studie prokázala, že zatímco silikonové oči vykazují určitou míru variability danou mechanickými vlastnostmi materiálu a omezenou standardizací, etalonové zařízení s modelovým okem dosahuje výrazně nižších nejistot a vyšší stability výsledků v celém rozsahu sledovaných tlaků. Modelové oko [12] navíc umožňuje kontinuální generování a kalibraci tlaku, čímž vytváří univerzálnější a metrologicky robustnější platformu pro testování různých typů očních tonometrů bez ohledu na jejich

konstrukční princip. Oproti tomu silikonové oči jako etalony jsou limitovány závislostí na konkrétním typu přístroje a časovou degradací materiálu, což dále snižuje jejich reprodukovatelnost. Inovované modelové zařízení tak představuje významný krok směrem ke standardizaci metrologické kontroly v oftalmologii, k posílení návaznosti na jednotky SI a ke zvýšení důvěryhodnosti výsledků měření v klinické praxi.



Obr. 3: Experimentální porovnávací studie v Glaukomové ambulanci Nemocnice Ružinov v Bratislavě. Zdroj: Vlastní.

Tabulka 3 shrnuje výsledky opakovaného měření nitroočního tlaku pomocí očního tonometru NIDEK NT-2000 na silikonových očích při třech referenčních tlakových bodech (16,00 mmHg; 23,50 mmHg a 44,00 mmHg). Pro každý bod bylo provedeno 10 měření, ze kterých byla stanovena průměrná hodnota a směrodatná odchylka jako ukazatel opakovatelnosti měření.

Tab.3: Experiment – porovnání silikonových očí s měřením na bezkontaktním očním tonometru NIDEK NT – 2000 (v Glaukomové ambulanci Nemocnice Ružinov, Bratislava). Zdroj: Vlastní zpracování.

Ref. tlak	Naměřené hodnoty (v mmHg)										Vyhodnocení	
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	Směrodatná odchylka
16,00 mmHg	17	17	17	16	17	17	17	16	17	16	16,7	0,5
23,50 mmHg	24	24	23	25	24	24	24	25	25	25	24,3	0,6
44,00 mmHg	43	43	43	43	42	43	43	43	43	45	43,1	0,7

Z výsledků je patrné, že naměřené hodnoty vykazují mírnou systematickou odchylku od referenčního tlaku, přičemž v nižším a středním rozsahu dochází k lehkému nadhodnocení, zatímco ve vyšším tlaku směrodatná odchylka roste. Směrodatná odchylka v intervalu (0,5–0,7) mmHg potvrzuje dobrou opakovatelnost měření, avšak současně poukazuje na omezenou přesnost danou mechanickými vlastnostmi etalonu.

Tento jev typický pro silikonové modely očí, kde výsledná hodnota není určována pouze nastaveným tlakem, ale i viskoelastickým chováním materiálu a jeho nelineární deformací při kontaktu se vzduchovým impulzem z tonometru. Tyto vlastnosti vedou k drobným systematickým chybám, které je nutné zohlednit při další interpretaci výsledků měření.

Tab. 4: Experiment – porovnání etalonového zařízení s modelovým okem s měřením na bezkontaktním očním tonometru NIDEK NT-2000 (v Glaukomové ambulanci Nemocnice Ružinov, Bratislava). Zdroj: Vlastní zpracování.

Rozsah	Ref. tlak	Naměřené hodnoty (v mmHg)										Vyhodnocení	
Číslo měření		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ø	Směrodatná odchylka
40 mmHg	0	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3,1	0,3
	10	11	11	12	12	11	12	11	11	11	11	11,3	0,5
	20	19	18	18	18	19	18	17	18	17	18	18,0	0,6
	30	28	28	27	27	27	28	28	26	27	27	27,3	0,6
	40	37	37	36	36	37	36	36	36	37	37	36,5	0,5
60 mmHg	50	48	47	47	47	48	47	48	48	47	48	47,5	0,5
	60	56	57	57	56	56	56	57	57	58	57	56,7	0,6

Tabulka 4 prezentuje výsledky opakovaného měření nitroočního tlaku pomocí očního tonometru NIDEK NT-2000 v rozsahu referenčních tlaků (0–60) mmHg, přičemž pro každý bod bylo provedeno 10 měření a vyhodnocena průměrná hodnota a směrodatná odchylka. Z výsledků je patrné, že

naměřené hodnoty systematicky odpovídají referenčním tlakům s mírnou odchylkou, která je v celém rozsahu relativně stabilní (řádově 0,3–0,6) mmHg, což svědčí o dobré opakovatelnosti měření a stabilním chování měřicího systému.

Zajímavým jevem je nenulová hodnota při nulovém referenčním tlaku, kde je naměřen průměr 3,1 mmHg. Tento offset lze interpretovat jako důsledek mechanické tuhosti a elastické odezvy umělé silikonové rohovky v modelovém oku. Při nulovém zatížení nedochází k ideální „nulové“ deformaci systému, ale rohovka si zachovává určité předpětí a vnitřní mechanické napětí, které se přenáší do měřicího procesu tonometru. [13; 14] Současně může hrát roli i konstrukční předpětí celého etalonového systému a minimální kontaktní tlak mezi rohovkou a měřicím prvkem. Tento systematický offset je proto typickým projevem nelineárního chování elastických materiálů a je nutné jej zohlednit při metrologické interpretaci výsledků.

Závěr

Porovnávané etalony pro oční tonometry představují nezbytný předpoklad pro metrologicky správné, reprodukovatelné a klinicky spolehlivé měření nitroočního tlaku, který je podstatný pro diagnostiku glaukomu. Současná praxe využívá různé typy etalonů, zejména silikonové oči a další specializovaná zařízení, jejichž omezená univerzálnost však poukazuje na potřebu komplexnějšího a standardizovaného přístupu. Etalonové zařízení s modelovým okem představuje z metrologického hlediska významný posun, neboť umožňuje přímou návaznost na jednotky soustavy SI, variabilní simulaci fyzikálních vlastností oka a tím i vyšší míru přesnosti a opakovatelnosti měření.

Zároveň je třeba zdůraznit, že moderní oční tonometry již neomezují své funkce pouze na stanovení nitroočního tlaku, ale stále častěji měří i další oftalmologické veličiny, jejichž metrologické zajištění bude v budoucnu vyžadovat obdobně robustní etalonové systémy. Další výzkum a validace etalonového zařízení s modelovým okem by se proto měly zaměřit na standardizaci modelových etalonů, detailní charakterizaci jejich mechanických vlastností a rozšíření metrologické návaznosti i na tyto nové měřené parametry. Takový přístup je nezbytný pro další rozvoj medicínské metrologie a pro zvýšení kvality a bezpečnosti oftalmologické diagnostiky, což prokázala i experimentální porovnávací studie.

Poděkování

Poděkování patří Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě, Oblastnímu inspektorátu Most a Brno Českého metrologického institutu, Slovenskému metrologickému ústavu v Bratislavě, Univerzitní nemocnici Bratislava – Nemocnici Ružinov, Lékařské fakultě a Fakultě tělesné výchovy a sportu Univerzity Komenského v Bratislavě a výzkumnému projektu akademika Čabelky (CAC-01-26) s názvem „Výzkum a validace etalonů pro účely zajištění metrologické návaznosti přístrojů s měřicí funkcí ve zdravotnictví“ za jejich podporu.

Literatura

- [1] Rybář, J., Ďuriš, S., Pavlásek, P., Šrenkel, P., Chytil, M.: Měření nitroočního tlaku v oftalmologické praxi. In *Metrologia a skúšobníctvo*. Roč. 23, č. 1 (2018), s. 8-12. ISSN 1335-2768.
- [2] Suchý, V., Ferková, S. L., Trnka, M., Fíra, R., Šuráň, J., Najmanová, E.: Tonometrie aneb aktuální stav metrologického zabezpečení bezkontaktních očních tonometrů v České republice a na Slovensku. In *Jemná mechanika a optika*. Roč. 67, č. 9 (2022), s. 185 - 188. ISSN 0447-6441.
- [3] Kelemenová, T., Dovica, M.: *Kalibrácia meradiel*. 1. vyd. Košice: TU v Košiciach. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2016. 232 s. ISBN 978-80-553-3069-3.
- [4] Rybář, J., Leja, J., Dunaj, Š., Smetánka, A., Onderčo, P.: New design solution of reference device with model eye. In *10th International scientific conference on advances in mechanical engineering: Selected peer-reviewed full text papers from the 10th International scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2024)*. 1. vyd. Zürich, Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2025, S. 81 - 86. ISSN 1662-0356. V databázi: SCOPUS: 2-s2.0-105008444446.
- [5] Chudý, V., Palenčár, R., Kureková, E., Halaj, M.: *Meranie technických veličín*. Vydavateľstvo Bratislava: STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [6] Sedlák, V., Pražák, D., Rybář, J.: Metrologie tlaku ve zdravotnictví. In *Metrologie*. Roč. 30, č. 3 (2021), s. 22 - 26. ISSN 1210-3543.
- [7] Potop, V., Coviltir, V., Schmitzer, S., Corbu, C., Ionescu, IC., Burcel, M., Dăscălescu, D.: The Relationship Between Corneal Hysteresis and Retinal Ganglion Cells - A Step Forward in Early Glaucoma Diagnosis. *Med Sci Monit*. 2020 Aug 25;26:e924672. DOI: 10.12659/MSM.924672. PMID: 32839422; PMCID: PMC7466832.
- [8] Suchý, V., Witkovský, V., Veselý, P., Trnka, M., Pluháček, F., Šuráň, J., Fíra, R.: Etalony nitroočního tlaku pro zabezpečení metrologické návaznosti ve zdravotnictví. In *Jemná mechanika a optika*. Roč. 67, č. 9 (2022), s. 189 - 194. ISSN 0447-6441.
- [9] Rybář, J.: *Výbrané témy z medicínskej metrológie*. [Habilitačná práca]. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Strojnícka fakulta. Ústav automatizácie, merania a aplikovanej informatiky. Bratislava: SĽF STU BA, 2022. 78 s.
- [10] Hučko, B., Ferková, S. L., Ďuriš, S., Rybář, J., Pavlásek, P.: Glaucoma vs. biomechanical properties of cornea. In *Strojnícky časopis = Journal of Mechanical engineering*. Vol. 69, no. 2 (2019), s. 111-116. ISSN 0039-2472 (2019: 0.247 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databázi: SCOPUS: 2-s2.0-85074483933.
- [11] Rybář, J., Hučko, B., Ďuriš, S., Pavlásek, P., Chytil, M., Furdová, A., Veselý, P.: Factors affecting measurements of IOP using non-contact eye tonometer. In *Strojnícky časopis = Journal of Mechanical engineering*. Roč. 70, č. 2 (2020), s. 133-140. ISSN 0039-2472 (2020). V databázi: SCOPUS: 2-s2.0-85099079234.
- [12] Rybář, J., Sedláčko, P., Ďuriš, S., Pavlásek, P., Grosinger, P., Dunaj, Š., Chytil, M., Hučko, B., Pluháček, F.: Modelové oko pro účely kalibrace bezkontaktních očních tonometrů (cesta k objektivní metrologické kontrole). In *Jemná mechanika a optika*. Roč. 64, č. 6 (2019), s. 164-168. ISSN 0447-6441.
- [13] Kling S. & Hafezi F.: Corneal biomechanics – a review. *Ophthalmic Physiol Opt* 2017; 37: 240–252. DOI: 10.1111/opo.12345
- [14] Shahiri, M., Jóźwik, A., Asejczyk, M.: Optomechanical self-adjustment model of the human eye. *Biomed Opt Express*. 2023 Apr. 5;14(5):1923-1944. DOI: 10.1364/BOE.484824. PMID: 37206139; PMCID: PMC10191641.



NOVINKY V METROLOGICKÉM ZAJIŠTĚNÍ MAGNETICKÉ REZONANCE

**Mgr. Helena Kolářová; Ing. Pavel Korčák;
Mgr. Vilma Poloučková Ph.D.;
prof. RNDr. Jiří Tesař Ph.D.**

Český metrologický institut

Úvod

Zdravotnické prostředky jsou výrobky, jejichž použití je spojeno vždy s určitým stupněm rizika, které nelze objektivně vyloučit, ale lze je při dodržení vhodných postupů a pravidel minimalizovat. Při poskytování zdravotní péče je oprávněný zájem na tom, aby případná rizika byla minimalizována, a to posouzením shody těchto výrobků s předem

stanovenými, závazně přijatými, prokazatelně schválenými, odborně prověřenými a obecně akceptovanými pravidly. Tento postup je transformován do závazných legislativních pravidel v nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2017/745 o zdravotnických prostředcích (MDR).

Významná část zdravotnické techniky technologicky pracuje jako přesné měřicí přístroje pro měření a vyhodnocení biologických veličin. Každý fyziologický stav nebo proces je možné kvalitativně i kvantitativně určovat prostřednictvím měření fyzikálních veličin, které jej charakterizují. S rozvojem moderní techniky a vědy se stále rozšiřuje okruh používaných technologií, senzorů i přístrojů. Ve spojení s výpočetní technikou a novými metodami zpracování

signálů se daří efektivně zvyšovat zabezpečení preventivní, diagnostické, léčebné a rehabilitační péče. Pro minimalizaci rizik pro pacienta je v oblasti zdravotnictví klíčové metrologické zabezpečení zdravotnických prostředků s měřicí funkcí.

Evropské partnerství pro oblast metrologie

Program Evropské partnerství pro oblast metrologie (EPM) je součástí rámcového programu Evropské komise pro výzkum, rozvoj a inovace *Horizon Europe* pro období let 2021 – 2027 [1]. Zapojení do projektů EPM zahrnuje úzkou spolupráci mezi národními metrologickými institucemi a přidruženými laboratořemi, průmyslem, vysokými školami a akademickými pracovišti, zejména z Evropy.

EPM je realizován formou dvoustupňové soutěže, kdy se ve druhém kole výzvy sestaví konsorcia, plán výzkumu a rozpočet projektů. Doba řešení každého projektu je 36 měsíců. Koncept umožňuje realizovat výzkum na špičkové úrovni s efektivním vynaložením financí v oblastech, kde by to pro jednotlivé národní státy nebylo možné. Zapojení do evropských projektů tedy napomáhá dosažení vysoké technické úrovně a efektivního řešení potřeb českého hospodářství.

Každý rok je vyhlašována výzva v několika oblastech, mimo jiné i v oblasti metrologická podpora zdraví, metrologická podpora regulace a standardizace a metrologická podpora digitální transformace. Český metrologický institut (ČMI) se úspěšně zapojuje do společných výzkumných projektů již od první výzvy v roce 2021. Nyní, po čtyřech výzvách, je součástí 64 konsorcií EPM.

Metoda zobrazování pomocí magnetické rezonance (MRI) nebyla dlouhodobě metrologicky zajištěna. S výzkumem v rámci programu *Evropské partnerství pro oblast metrologie* dochází ke změně. Český metrologický institut se postupně zapojil do tří projektů se zaměřením na metrologii magnetické rezonance. V roce 2025 byl dokončen projekt *Standardizace pro bezpečné skenování implantátů při MR* (akronym STASIS). Projekt *Cenově dostupný nízkonákladový referenční systém MR* (akronym A4IM) je aktuálně v polovině trvání výzkumu. Letos začala implementace projektu *Důvěryhodné a kvalitní kvantitativní zobrazování magnetickou rezonancí* (akronym APULEIO).

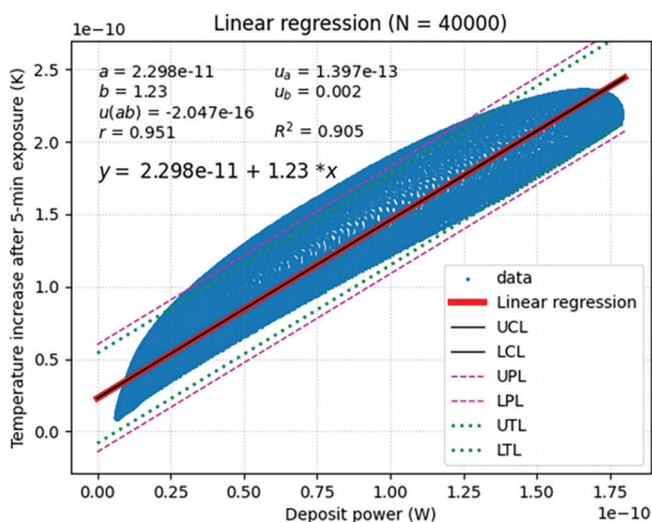
Standardizace pro bezpečné skenování implantátů při zobrazování magnetickou rezonancí

Společný výzkumný projekt EPM projektu *Standardizace pro bezpečné skenování implantátů při zobrazování magnetickou rezonancí* (STASIS) [2] se orientoval zejména na posouzení nejistot měření spojených s použitím MR, specificky pak na možnost využití metody magnetické rezonance u pacientů s kovovými implantáty. Hlavní úlohou ČMI, který vedl jeden z pracovních balíčků, bylo provést podrobné rozbor nejistot včetně základních kovariací negaussovského průběhu některých vstupních veličin. Výsledkem projektu je doporučení s podrobným návodem na určení nejistot, které významným způsobem rozšiřuje okruh pacientů s kovovými implantáty, kteří mohou podstoupit vyšetření pomocí MR. Tito pacienti, dříve vyloučení z vyšetření magnetickou rezonancí, mohou nyní diagnostiku pomocí MR za stanovených podmínek absolvovat.

Odhaduje se, že neaktivní implantát má zhruba 13 % obyvatel EU. Předpokládáme, že výsledky budou široce použity nejen výrobci systémů MR, ale i oznámenými subjekty pro posuzování zdravotnických prostředků s měřicí funkcí podle evropské legislativy MDR. (ČMI je jedním z těchto oznámených subjektů.)

Projekt byl implementován v roce 2022 a v roce 2025 byl úspěšně dokončen. Konsorcium bylo složeno ze tří národních metrologických institutů (NMI), a to německého (PTB), českého (ČMI) a italského (INRiM). Dalšími účastníky projektu byl Deutsches Krebsforschungszentrum (největší biomedicínská výzkumná instituce v Německu věnující se výzkumu rakoviny), Forschungsstiftung für Informationstechnologie und Gesellschaft (Výzkumná nadace pro informační technologie a společnost ze Švýcarska), MR:-comp GmbH (společnost pro testování bezpečnosti a kompatibility implantátů, nástrojů a zdravotnických prostředků s MR v Německu) a Slovenská technická univerzita v Bratislavě. Vedoucím konsorcia byl Dr. Lukas Winter z PTB.

Pracovní plán STASIS byl rozdělen do několika pracovních balíčků. V pracovním balíčku *Inteligentní implantáty* byly vyvinuty, vyhodnoceny a prozkoumány nejistoty nového konceptu bezpečnosti implantátů v magnetické rezonanci, v němž implantáty komunikují se skenerem MR. Tyto inteligentní lékařské implantáty mohou využívat měření pomocí vestavěných senzorů k posouzení a zmírnění zahřívání implantátů vyvolaného radiofrekvenčním zářením. V pracovním balíčku *Referenční hardware technologie plně paralelního přenosu v MR* byl proveden normativní výzkum pro možnost použití této funkce u MR v certifikovaném režimu. V pracovním balíčku *Gradientní indukovaný ohřev implantátu* byly vyvinuty standardizované postupy pro zkoumání interakce kovových implantátů s gradientními magnetickými poli v kilohertzovém rozsahu. Cílem balíčku *Rozpočet nejistot* byla přesná kvantifikace nejistoty v celém projektu. Přesná kvantifikace nejistot měření je jedním z klíčových faktorů pro zajištění bezpečnosti magnetické rezonance.



Obr. 1: Výpočet nejistot měření pro ohřev implantátů v kotníku v závislosti na dodaném výkonu po dobu 5 minut

Cenově dostupný nízkonákladový referenční systém magnetické rezonance

Projekt *Cenově dostupný nízkonákladový referenční systém MR (A4IM)* [3] začal v roce 2023 a aktuálně je v polovině běhu projektu. A4IM je zaměřen především na vývoj a realizaci nízkomagnetické MR, v ideálním případě dokonce v transportovatelné verzi. V rámci projektu se takové zařízení podařilo vyvinout a nyní prochází metrologickými zkouškami. Předpokládá se, že takové zařízení se bude využívat v geograficky odlehlých oblastech a při dočasných hromadných akcích se zvýšeným rizikem úrazu, např. při závodech rizikových sportů.

Evropského výzkumného projektu se účastní český (ČMI), německý (PTB), francouzský (LNE), italský (INRiM) a turecký (UME) národní metrologický institut společně se Španělskou národní radou pro výzkum (IO-CSIC). Dále konsorcium tvoří deset univerzit z České republiky, Německa, Švýcarska, Turecka, Slovenska, Nizozemska a Spojeného království. Do výzkumu se také zapojily společnosti KAR BioTech s.r.o. z ČR, OpenReg GmbH a BRAIN-LINK UG ze SRN. Koordinátorem projektu je Dr. Christoph Kolbitsch z PTB.



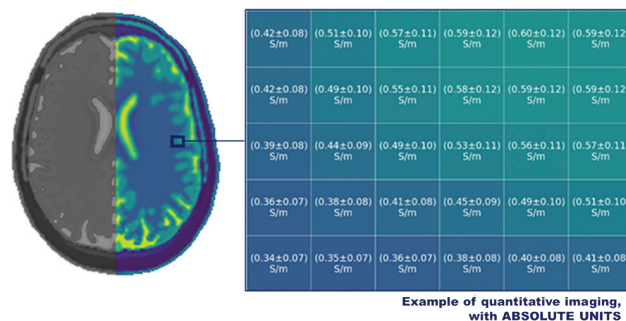
Obr. 2: Jeden z prototypů představený PTB v Berlíně na Noci vědců.

Český metrologický institut vede pracovní balíček, jehož cílem je vypracovat metodu určení nejistot nízkomagnetické MR (hlavní statické pole $B_0 \approx 50$ mT) a připravit podrobnou technickou dokumentaci. Další pracovní balíčky jsou zaměřeny na vývoj hardwaru, charakterizace a optimalizace referenčního MR skeneru s nízkým polem, vývoj open source softwarové platformy pro ovládání referenčního skeneru a vývoj kvalitativních a kvantitativních zobrazovacích přístupů optimalizovaných pro aplikace s nízkým magnetickým polem.

Důvěryhodné a kvalitní kvantitativní zobrazování magnetickou rezonancí

Důvěryhodné a kvalitní kvantitativní zobrazování magnetickou rezonancí (APULEIO) [4] je projekt, který byl zahájen

v červnu 2025, dokončen má být za 36 měsíců a zaměřuje se na začlenění sebehodnocení nejistoty na úrovni pixelů do kvantitativních rekonstrukcí magnetické rezonance (qMR). Celkovým cílem projektu je vyvinout komplexní metrologický rámec pro připojení map nejistot k parametrickým mapám získaným pomocí kvantitativních technik MR. Rámec bude založen na obecných principech, které lze použít pro řadu kvantitativních zobrazovacích metod. Pro otestování rámce na reálných datech jsou jako případové studie vybrány dvě doplňkové rekonstrukční techniky: tomografie elektrických vlastností (Electric Properties Tomography, EPT) a otiskování magnetickou rezonancí (Magnetic Resonance Fingerprinting, MRF).



Obr. 3: V kvantitativní magnetické rezonanci (qMRI) se každý pixel obrazu stává neinvazivní biopsií, která poskytuje měření biomarkeru.

Koordinátorem projektu je Dr. Luca Zilberti z národního metrologického institutu Itálie (INRiM). Konsorcium doplňují další NMI, a to ČMI z ČR, LGC z Velké Británie, LNE z Francie, PTB ze SRN a VSL z Nizozemska. Na řešení projektu se podílí také Fondazione Stella Maris (Itálie), KAR Bio Tech s.r.o. (Česko) a Universitair Medisch Centrum Utrecht (Nizozemsko).

Český metrologický institut vede pracovní balíček *Zajištění kvality dat a softwaru* s cílem zajistit, aby všechny datové sady a software, vyvinuté v rámci projektu, splňovaly zásady kvality s ohledem na příslušné normy a MDR. V dalších pracovních balíčcích se budou generovat referenční naměřená data a simulovaná data digitálních dvojčat pro EPT a MRF, vyvíjet strategie pro vytváření odpovídajících map nejistot, které budou kvantifikovat spolehlivost samotného obrazu na úrovni jednotlivých pixelů. Nedílnou součástí výzkumu je i validace a aplikace techniky qMR rekonstrukce a odhadu nejistoty.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektů STASIS, A4IM a APULEIO Evropského partnerství pro oblast metrologie.

Literatura

- [1] <https://www.euramet.org/research-innovation/metrology-partnership>
- [2] <https://www.ptb.de/stasis/>
- [3] <https://www.a4im.ptb.de/home>
- [4] <https://apuleio.eu/>

PLYNOVÉ SPORÁKY

Milan Holomek

Strojírenský zkušební ústav, s.p.

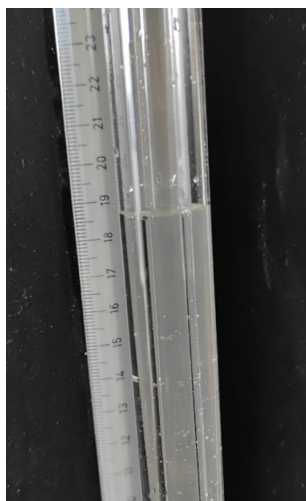
Plynové sporáky, stejně jako ostatní plynové spotřebiče, podléhají dosti komplexnímu procesu zkoušek a ověření. Vedle odzkoušení mnoha vlastností výrobku je to také posouzení příslušných konstrukčních požadavků a v neposlední řadě kontrola souboru technické dokumentace, zejména technických návodů k obsluze a údržbě. Pokud jsou splněna příslušná kritéria a požadavky, je nakonec celý proces završen vydáním příslušných protokolů a certifikátů a výrobek musí být označen značkou CE.

Tento proces se nazývá certifikace a musí jej provést (za aktivní součinnosti výrobce) sk tomu oprávněná autorita - notifikovaná osoba.

Nyní si přiblížíme některé vybrané zkoušky.

Zkoušky - funkce

- První zkouškou je zcela logicky kontrola těsnosti plynové trasy, tedy hlavně všech spojů od bodu plynové přípojky až po trysky jednotlivých hořáků. I když je mezní hodnota netěsnosti stanovena na $0,1 \text{ dm}^3/\text{h}$, obvykle je výsledkem zkoušky prakticky nulová hodnota. V domácnosti si může zástupnou zkoušku těsnosti kdokoli vyzkoušet také, když si namíchá pěnící kapalinu (např. směs jaru a vody) a bublinkovou směsí následně potře všechny spoje plynové trasy; pak již jen stačí sledovat, zda někde nedochází ke zvětšování bublinek. **Obr. 1, 2** - netěsnosti, detail na skleněný válec a roj bublinek.

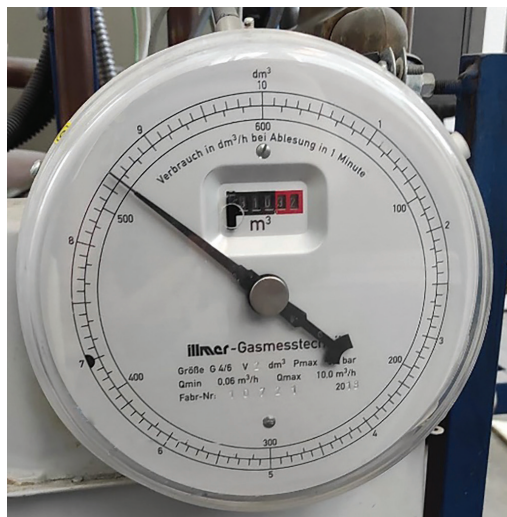


Obr. 1: Skleněný válec pro přesný odečet netěsnosti plynové trasy



Obr. 2: Roj bublinek v místě s netěsností

- Další základní zkouškou je zkouška příkonů jednotlivých hořáků. Cílem zkoušky je jednak prokázat, že příkony všech hořáků jak při samostatném provozu, tak i při společném provozu, dosahují deklarovaných



Obr. 3: Plynoměr pro měření příkonu

hodnot výrobcem, jednak jaké je regulační rozpětí nastavení příkonu jednotlivých hořáků. Rozhodujícím měřidlem je v tomto případě přesný plynoměr. **Obr. 3** - plynoměr - výřez.

- Jednou z nejdůležitějších zkoušek bezpečnosti je zkouška pojistky plamene - prvku, který zajišťuje, aby v případě nechtěného uhasnutí plamene (např. při překypění mléka) došlo ke spolehlivému včasnému uzavření přívodu plynu. Testuje se jednak to, zda není překročen časový limit při spouštění hořáku, jednak časový limit při umělém uhasnutí hořáku. Rozhodujícím měřidlem jsou stopky. **Obr. 4** - detail plamene, pojistky a stopky.



Obr. 4: Zkouška časového limitu pojistky plamene

- Specifickou zkouškou je zkouška zapalování, šíření a stability plamene. Zkouška se provádí se speciálními směsmi plynů, kdy je cílem prokázat, že i se směsí plynů, která je pro danou zkoušku těžším úkolem, výrobek spolehlivě splní kritérium.

Konkrétně se tedy testuje prošlehnutí na trysku (dovnitř hořáku) se směsí plynů, která hoří zvýšenou rychlostí. Naopak možné ulétnutí plamene (směrem od hořáku) se testuje se směsí plynů se sníženou výhřevností. Navíc se tyto zkoušky provádí jak v teplém, tak také ve studeném stavu, aby se spolehlivě prokázalo, že sporák bude správně fungovat za všech očekávatelných podmínek provozu.

Je zde i jedna abnormální zkouška, kdy se opět namíchá směs náchylná na zahoření uvnitř hořáku, a pokud se plamen udrží uvnitř, materiál hořákového setu musí být schopen odolávat těmto zvýšeným tepelným účinkům.

Hlavním účelem používání speciálních plyných směsí je simulovat možné zakolísání základního plynu nebo plyné směsi až do stanovených krajních mezí, kdy při splnění sledovaných vlastností můžeme s určitou mírou rezervy konstatovat splnění kritérií.

U této zkoušky je zajímavé, že vlastní vyhodnocení je převážně vizuální, částečně i s využitím sluchu.

- Jednou z nejzajímavějších zkoušek parametrů je zkouška stanovení účinnosti vařidlových hořáků. V principu jde o to, kolik plynu spotřebujeme na ohřátí konkrétního objemu vody v hrncích standardizovaných rozměrů. Dosazený parametr tedy ovlivňuje ekonomiku provozu sporáku při vaření. Aby bylo měření co nejpřesnější, vlastní objem vody ve zkušebních hrncích odměřujeme na velmi přesných vahách, čímž dosáhneme nižší míry nejistoty, než by tomu bylo při objemovém měření např. pomocí odměrných válců.
- U této zkoušky již potřebujeme celou sadu měřidel (plynoměr, teploměr, váhu, stopky atd.), která jsou často zabudována do měřicí stanice, která zajistí provádění celého souboru zkoušek

sofistikovaným způsobem. V této souvislosti je také vhodné zdůraznit, že všechna měřidla používaná pro zkoušky jsou jednak správně volena (vzhledem k požadované úrovni nejistoty), jednak kalibrována v akreditovaném režimu. **Obr. 5, 6** - hrnce na sporáku s plamenem, výřez měřicí smyčky.

- Taktéž plynová trouba, pokud je součástí sporáku, podléhá zkoušce účinnosti, která se v normě nazývá zkouškou udržovacího příkonu trouby. V principu jde o to, aby nebyl překročen stanovený maximální možný



Obr. 5: Zkušební hrnec se snímáním teploty vody



Obr. 6: Měřicí stanice

příkon (spotřeba plynu) pro udržování příslušné teploty uvnitř trouby. Tento parametr taktéž ovlivňuje ekonomiku provozu sporáku.

- Jednou ze standardních zkoušek je měření povrchových teplot všech ovladačů a vnějších stěn sporáku. Zde se



Obr. 7: Měření povrchové teploty ovladačů

měření provádí až po předepsané, dostatečně dlouhé době pro naakumulování teploty sledovaných míst, ať již působením radiace, vedením tepla nebo konvekcí nebo kombinací těchto jevů. Rozhodujícím měřidlem je kontaktní teploměr s příslušným snímačem. **Obr. 7** - detail snímače na ovladači.

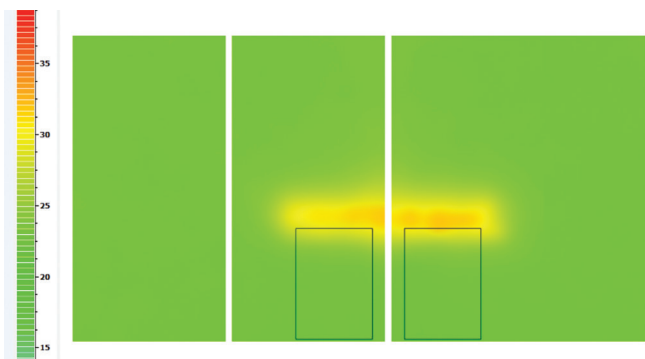
- V neposlední řadě jsou také ověřovány bezpečné vzdálenosti od sporáku ve všech směrech k potenciálně hořlavým materiálům. Měření bezpečných vzdáleností od hořlavých materiálů je prováděno v tzv. „černém koutu“, což je soustava podlahy a dvou stěn, do jejichž povrchu jsou integrovány stovky teplotních snímačů. Tyto snímače



Obr. 8: Umístění sporáku v černém koutu

nám umožní průběžné monitorování teploty v jednotlivých bodech, ze kterých je následně vytvořena teplotní mapa. **Obr. 8, 9** - umístění sporáku v černém koutu a vytvořená teplotní mapa.

- Další důležitou zkouškou je zkouška dokonalosti spalování, tedy prokázání,



Obr. 9: Teplotní mapa šíření tepla od sporáku na okolní stěny v černém koutu

že produkce emisí oxidu uhelnatého nepřekračuje stanovené meze. Zkouška se provádí ve vícero režimech: jednotlivé hořáky se sledují jak při plném průtoku



Obr. 10: Analyzátor spalín



Obr. 11: Digestor pro snímání emisí oxidu uhelnatého

plynu, tak při sníženém průtoku plynu, s variací úrovně vstupního tlaku plynu, s použitím speciální směsi plynu (se zvýšenou výhřevností). Zkouška se provádí i při chodu všech hořáků dohromady (včetně hořáku trouby, příp. grilu). Opět se tedy jedná o dosti robustní zkušební proces, kdy je rozhodujícím měřidlem citlivý analyzátor nespálených plynů. **Obr. 10, 11** - výřez analyzátoru plynu, digestor pro sběr spalín.

Zkoušky – konstrukce výrobku

- Podstatnými zkouškami konstrukce, které mají významnou vazbu na každodenní používání sporáku, jsou zkouška pevnosti (tuhosti) vařidlových mřížek a zkouška pevnosti dvířek trouby sporáku. Simulování umělé zátěže v definovaných místech má za cíl prokázat, že konstrukce sporáku zajistí dostatečnou tuhost, a tím i pocit jistoty pro obsluhu při manipulaci s většími nádobami na vaření (hrnci, plechy). **Obr. 12, 13** - umístění závaží s detailem na velikost závaží.



Obr. 12: Zátěž na vařidlové mřížce



Obr. 13: Zátěž na dvířkách sporáku

PROGRAM ROZVOJE ZKUŠEBNICTVÍ V ROCE 2025

Mgr. Václava Holušová*Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) se dlouhodobě podílí na rozvoji státem garantovaného zkušebnictví v České republice prostřednictvím dotačního nástroje zvaného **Program rozvoje zkušebnictví** (PRZ), který vychází z potřeb systému posuzování shody v regulované sféře. Jde o podporu činnosti subjektů, které plní úlohu třetí nezávislé strany při povinném posuzování shody výrobků, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu. Tyto tzv. „stanovené výrobky“ si neurčuje ÚNMZ sám, ale jsou definovány zákonem č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky (ve znění jeho četných novel).

Rok 2025 byl již druhým rokem, kdy **PRZ fungoval v režimu zákona o zadávání veřejných zakázek**. Zatímco první ročník se neobešel bez komplikací, druhý rok už proces běžel vcelku hladce. Zájemci o zapojení do PRZ si už loni vyzkoušeli administrativně náročnou přípravu nabídek podle **Rámcové smlouvy – realizace Plánu rozvoje zkušebnictví**. Nový byl tento proces jen pro zpracovatele dvou úkolů, které ještě v roce 2024 fungovaly mimo Rámcovou smlouvu a začleněny byly až v roce 2025. Šlo o úkoly „Zajištění pravidelné měsíční aktualizace kapitoly I, II a III české a anglické verze Informačního portálu ÚNMZ pro stavební výrobky včetně aktualizace databáze harmonizovaných norem a databáze evropských dokumentů pro posuzování k nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 305/2011 (CPR)“ a „Interaktivní databáze legislativních předpisů pro nebezpečné látky ve stavebních výrobcích“.

Rámcová smlouva byla v roce 2025 rozšířena z 23 na **27 tématických částí**, které se skládají z konkrétních dílčích úkolů. Jeden úkol (zpracování publikace „Uvádění výrobků na vnitřní trh Evropského hospodářského prostoru. Postupy hospodářských subjektů a služby zkušebních, inspekčních a certifikačních organizací České republiky jako členského státu EU – pro hospodářské subjekty,

verze 2024 – Změny v právních předpisech EU a ČR od září 2024 do září 2025“) byl zajištěn samostatnou objednávkou mimo Rámcovou smlouvu.

V rámci každé tématické části může dodavatel úkolu („příkazník“) poskytovat služby v jedné či více oblastech:

- Metodické zabezpečení jednotného postupu autorizovaných/notifikovaných osob, oznámených subjektů a uznávaných nezávislých organizací při posuzování shody výrobků nebo personálu, podle platných nebo připravovaných právních předpisů.
- Zabezpečení koordinace jednotného postupu autorizovaných osob/notifikovaných osob, oznámených subjektů a uznávaných nezávislých organizací; zapojení těchto subjektů do mezinárodní spolupráce na úrovni EU.
- Zdokonalování činnosti autorizovaných osob, oznámených subjektů a uznávaných nezávislých organizací.
- Publikační a osvětová činnost.

Dodavateli úkolů (a tedy příjemci státní podpory) jsou buďto subjekty, které posuzují shodu podle právních předpisů platných pouze na území ČR (tedy z pohledu EU „neharmonizovaných“), nebo subjekty, které posuzují shodu výrobků s harmonizovanými právními předpisy EU a mohou působit v celém Evropském hospodářském prostoru (ten tvoří členské státy EU, Island, Lichtenštejnsko a Norsko).

Finanční rámec pro PRZ 2025 činil 7 800 000 Kč. Vysoutěženo bylo 58 úkolů, jeden z nich byl v průběhu roku stornován na žádost dodavatele. Celkem bylo tedy řešeno **57 úkolů PRZ v celkovém finančním objemu 5 632 054,50 Kč**. Plnění 10 úkolů, včetně jejich fakturace, bylo přesunuto po vzájemné dohodě s dodavateli na rok 2026. Důvodem bylo odložení některých mezinárodních akcí, kterých se měli dodavatelé úkolů účastnit a podat o nich zprávu. Úspora činila 2 167 945,50 Kč z celkové alokované částky.

Program rozvoje zkušebnictví pokračuje i v roce 2026. Objednávky na jednotlivé úkoly tentokrát ÚNMZ mohl rozesílat až po skončení rozpočtového provizoria.



EVROPSKÁ NORMALIZACE A JEJÍ VÝZNAM V ČESKÉ REPUBLICĚ, ÚLOHA ČESKÉ AGENTURY PRO STANDARDIZACI

Ing. Michal Vindyš*Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví***Co je evropská normalizace?**

Evropská normalizace představuje proces vytváření a implementace standardů a norem, které mají za cíl zajistit kvalitu, bezpečnost a interoperabilitu výrobků a služeb v rámci Evropské unie. Tyto normy jsou vytvářeny Evropským

výborem pro normalizaci (CEN), Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC) a Evropským ústavem pro telekomunikační normy (ETSI). Evropská normalizace posiluje celosvětovou konkurenceschopnost evropského průmyslu, a to především, pokud je zaváděna v koordinaci s mezinárodními normalizačními orgány, a to s Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO), Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) a Mezinárodní telekomunikační unií (ITU).

Odborníci z členských zemí reprezentují národní normalizační orgány (v České republice je to ÚNMZ) v technických komisích (pracovních orgánech) evropských a mezinárodních normalizačních organizací musí návrhy evropských a mezinárodních norem na národní úrovni projednat, a to především s členy národních technických komisí (v ČR jsou to tzv. Technické normalizační komise TNK) tak, aby výsledek co nejvíce vyhovoval i národním potřebám.

Česká republika je plnoprávným členem Evropského výboru pro normalizaci (CEN) a Evropského výboru pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC) od roku 1997, členem Evropského ústavu pro telekomunikační normy (ETSI) je ČR již od roku 1993, a to jako první země ze střední a východní Evropy. Od této doby má za povinnost prostřednictvím ÚNMZ převzít všechny evropské normy do své národní soustavy, ale současně má právo i povinnost účastnit se aktivně tvorby evropských norem. Dále je ÚNMZ jako národní normalizační organizace plnoprávným členem Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) a Mezinárodní elektrotechnické komise (IEC).

Hlavním cílem těchto organizací je přispívat tvorbou mezinárodních nebo evropských norem, které jsou dobrovolné, k odstraňování technických překážek obchodu. Evropské normy hrají velmi důležitou úlohu v rámci vnitřního trhu, například prostřednictvím využití harmonizovaných norem, pokud je zde předpoklad shody výrobků, jež mají být dodány na trh, se základními požadavky na tyto výrobky stanovenými v příslušných harmonizačních právních předpisech Unie.

Legislativní ukotvení evropské normalizace

Nařízení (EU) č. 1025/2012 o evropské normalizaci se používá ode dne 1. ledna 2013

Nařízení (EU) č. 2022/2480, kterým se mění nařízení (EU) č. 1025/2012 platné od 9. července 2023

Nařízení zahrnuje pravidla týkající se:

- spolupráce mezi normalizačními organizacemi, národními normalizačními orgány, členskými státy EU a Evropskou komisí,
- způsobu zavádění evropských norem podle potřeb trhu pro výrobky a služby v souladu s právními předpisy a politikami EU,
- jak technické specifikace informační a komunikační technologie mohou tento proces podpořit,
- financování činností v oblasti normalizace, zpravidla v podobě grantů nebo výzev k předkládání návrhů v souladu s právními předpisy a politikami EU,
- zapojení zúčastněných stran.

Nařízení zahrnuje normy pro služby a výrobky. K požadovaným charakteristikám výrobku nebo služby musí patřit také ochrana životního prostředí a veřejného zdraví.

Žádosti o normalizaci adresované evropským normalizačním organizacím

Komise může požádat jednu nebo více evropských normalizačních organizací, aby vypracovaly návrh evropské normy,

kteřá musí vycházet z potřeb trhu a brát v úvahu veřejný zájem a rovněž politické cíle EU. Komise určí požadavky a lhůtu, které je nutné splnit. Členské státy oznámí Komisi veškeré žádosti podané normalizačním institucím týkající se vypracování technických specifikací nebo normy pro určité výrobky za účelem vytvoření návrhu technických předpisů.

Evropská normalizace vyžaduje mandát od Evropské komise, která zadává práci evropským normalizačním orgánům (CEN, CENELEC, ETSI) k vytvoření technických norem. Mandát je formální žádost pro tyto organizace, aby vytvořily normy potřebné pro splnění požadavků evropské legislativy, jako jsou směrnice a nařízení. Tyto normy pak slouží jako harmonizované normy, jejichž splněním lze prokázat shodu s legislativou, a zajistit tak volný pohyb zboží na vnitřním trhu EU.

Jak to funguje v praxi

1. Evropská legislativa: Parlament a Rada EU přijme směrnici či nařízení, které stanoví základní technické požadavky na určitý produkt nebo službu (např. na přístupnost).
2. Zadání mandátu: Evropská komise vydá mandát (např. M/587) pro normalizační orgány, aby vypracovaly technické normy pro splnění těchto požadavků.
3. Tvorba norem: Evropské normalizační orgány (CEN, CENELEC, ETSI) a národní normalizační orgány pracují na návrhu normy.
4. Harmonizace: Pokud jsou normy přijaty, jsou formálně harmonizovány a jejich odkaz je publikován v Úředním věstníku EU (je k dispozici online na portálu EUR-Lex).
5. Důkaz shody: Výrobci mohou splnit požadavky předpisu tím, že dodrží tyto harmonizované normy.

Úloha České agentury pro standardizaci

Česká agentura pro standardizaci (ČAS) <https://agentura-cas.gov.cz/> hraje klíčovou roli v procesu normalizace v České republice. Její úkoly zahrnují:

1. Koordinace normalizace: ČAS zajišťuje koordinaci aktivit v oblasti standardizace na národní úrovni a podílí se na evropských a mezinárodních normalizačních aktivitách.
2. Vytváření a vydávání norem: Agentura vytváří a publikuje české technické normy, které jsou důležité v mnoha odvětvích, včetně průmyslu, stavebnictví, energetiky a zdravotnictví.
3. Podpora inovací a konkurenceschopnosti: Normy pomáhají podnikům zvyšovat kvalitu a bezpečnost jejich výrobků, což přispívá k jejich konkurenceschopnosti na nejen evropském, ale i globálním trhu.
4. Školení a vzdělávání: ČAS poskytuje školení pro odborníky, která pomáhají zvyšovat znalosti o normách a jejich aplikaci.

Agentura v souladu se záměrem zefektivnění normalizačních činností vytváří síť spolupracujících subjektů, tzv. Center technické normalizace (CTN). Prvořadou povinností těchto center je zajišťování normalizačních činností v celém procesu tvorby technické normy, tj. účast na tvorbě normy od etapy schváleného projektu v rámci mezinárodních

a evropských normalizačních organizací až po zpracování textu normy při jejím přejímání do soustavy českých technických norem, ale i tvorba původních českých technických norem. Tato CTN musí samozřejmě disponovat kvalifikovaným zpracovatelským zázemím ve svěřených oborech.

Technické normalizační komise v České republice

Technické normalizační komise (TNK) jsou specializované skupiny odborníků, které se zabývají vývojem specifických norem pro jednotlivé oblasti. Jejich úloha zahrnuje:

- Identifikaci potřeb standardů: TNK analyzují tržní trendy a identifikují oblasti, kde je třeba vyvinout nové normy.
- Vytváření návrhů norem: Odborníci v rámci TNK pracují na návrzích nových norem nebo revizích stávajících norem, aby reflektovaly současné znalosti a technologie.
- Odborné posouzení: Normy navržené TNK jsou podrobeny odbornému posouzení a schvalovacímu procesu před jejich publikací.

Dále je třeba zmínit i Normalizační výbor (NV) a Elektrotechnický normalizační výbor (ENV), jež jsou stálým poradním orgánem generálního ředitele Agentury, jakožto organizace pověřené zajišťováním odborné činnosti související s tvorbou, vydáváním a distribucí českých technických norem na území České republiky

Posláním NV je plnit úkoly vyplývající z členství ÚNMZ v evropských a mezinárodních normalizačních organizacích (CEN a ISO), u ENV v evropských a mezinárodních normalizačních organizacích (CENELEC a IEC) v rámci své působnosti. Dále spoluvytvářet podmínky pro rozvoj technické normalizace na národní úrovni s přihlédnutím k požadavkům trhu a užívání technických norem. ENV je v CENELEC a IEC považován za český národní komitét (CZ NC).

Význam normalizace pro český průmysl

Normalizace má obrovský přínos nejen pro jednotlivé firmy, ale i pro celou ekonomiku. Pomáhá zvyšovat kvalitu výrobků a poskytovaných služeb, což vede k větší důvěře ze strany spotřebitelů. Navíc podporuje mezinárodní obchod tím, že usnadňuje dodávání výrobků na zahraniční trhy vyžadující splnění konkrétních norem.

Závěr

Evropská normalizace a role České agentury pro standardizaci spolu s technickými normalizačními komisemi jsou klíčové pro hladký chod českého průmyslu a jeho integraci na evropský trh. Normy přispívají k zajištění kvality, bezpečnosti a efektivity, což je nezbytné pro udržitelný růst a konkurenceschopnost českého hospodářství.



PRAHA SE STANE CENTREM SVĚTOVÉ METROLOGIE: POZVÁNKA NA KONFERENCI IMEKO TC4 & TC11 V ROCE 2026

doc. Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.

ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra měření



Měření je základem každého vědeckého pokroku i průmyslové kvality. Přesnost, návaznost a spolehlivost měření jsou klíčové nejen pro vědecký výzkum, ale také pro

průmyslovou výrobu, energetiku, zdravotnictví či moderní digitální technologie. Metrologie tak představuje jednu z klíčových disciplín současné techniky.

V září roku 2026 se Praha stane dějištěm významné mezinárodní události v této oblasti. Fakulta elektrotechnická Českého vysokého učení technického v Praze, konkrétně Katedra měření, bude hostit 27. ročník mezinárodní konference IMEKO TC4, která se historicky poprvé uskuteční ve společném formátu se sekci TC11. Toto propojení přinese unikátní pohled na současný vývoj i budoucnost měření elektrických veličin, testování a certifikace.

IMEKO – globální platforma pro metrologii

Mezinárodní konfederace pro měření, známá pod zkratkou IMEKO (International Measurement Confederation), představuje jednu z nejvýznamnějších nevládních vědeckých organizací v oblasti metrologie. Byla založena v roce 1958 v době, kdy potřeba standardizace a mezinárodní spolupráce v technických oborech začala výrazně narůstat v důsledku rychlého technologického rozvoje.

Dnes IMEKO sdružuje národní metrologické společnosti, výzkumné organizace a akademické instituce z více než čtyřiceti zemí světa. Jejím hlavním posláním je podpora mezinárodní výměny vědeckých a technických informací v oblasti měření a instrumentace a rozvoj

spolupráce mezi vědci, inženýry a průmyslovými partnery napříč kontinenty.

Srdcem činnosti IMEKO je 26 specializovaných technických výborů (Technical Committees), které pokrývají široké spektrum moderní metrologie – od teoretických základů měření (TC1) přes měření elektrických veličin (TC4) až po nejnovější oblasti, jako je kvantová metrologie (TC25).

Konfederace úzce spolupracuje s dalšími významnými institucemi v oblasti metrologie, například s Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) nebo International Organization of Legal Metrology (OIML), a také s profesními organizacemi, jako je Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Výstupy z konferencí IMEKO jsou pravidelně publikovány v prestižních odborných časopisech, například *Measurement* (Elsevier) nebo *Acta IMEKO*, a často přispívají k dalšímu rozvoji mezinárodních doporučení, metodik a standardů.

Česká stopa v IMEKO

Česká – a dříve československá – metrologie má v rámci IMEKO dlouhodobě velmi silnou stopu. Odborníci z českých výzkumných institucí, univerzit i metrologických organizací se dlouhodobě podílejí na práci jednotlivých technických komisí a aktivně přispívají k rozvoji oboru.

Významnou roli zde hraje také Česká metrologická společnost, která je aktivním členem IMEKO a dlouhodobě podporuje zapojení českých odborníků do mezinárodní spolupráce.

Pořádání společné konference IMEKO TC4 a TC11 v Praze v roce 2026 je tak přirozeným vyústěním této dlouhodobé aktivity a současně potvrzením vysokého odborného kreditu, kterému se česká metrologická komunita na mezinárodní scéně těší.

Témata konference

Program konference reflektuje aktuální technologické trendy i výzvy průmyslové praxe. Mezi hlavní tematické oblasti patří zejména:

- Fundamentální metrologie – měření elektrických a magnetických veličin, metrologická návaznost a nové referenční standardy
- Digitalizace měření – pokročilé modelování, charakterizace a testování ADC a DAC převodníků
- Inteligentní měřicí systémy – moderní senzory, pokročilé zpracování signálů
- Aplikace budoucnosti – metrologie pro energetické sítě, e-mobilitu, diagnostiku akumulátorů a průmyslovou automatizaci
- Kvalita a shoda – metodiky testování, vyhodnocování nejistot měření a role certifikace v globálním obchodě

Jedním z unikátních prvků pražské konference je možnost vystoupit v rámci programu nejen s plnohodnotným vědeckým článkem (Full Paper), ale také na základě jednostránkového rozšířeného abstraktu. Tento formát otevírá dveře širšímu spektru odborníků z průmyslové praxe i mladým vědcům, kteří chtějí prezentovat dílčí výsledky svého výzkumu nebo zajímavé případové studie z průmyslového prostředí.

Pozvánka pro české metrology

Pro české metrology, pracovníky kalibračních a zkušebních laboratoří, vývojáře měřicí techniky i akademické pracovníky představuje konference IMEKO TC4 & TC11 2026 mimořádnou příležitost setkat se se světovou odbornou komunitou přímo v České republice. Účastníci tak budou mít možnost navázat nové profesní kontakty, sdílet zkušenosti a diskutovat aktuální výzvy moderní metrologie bez nutnosti cestovat na vzdálené zahraniční konference.

Účastníci se mohou těšit na přednášky světových kapacit v oboru (Keynote Speakers). Účast přislíbili prof. Paolo Carbone, prezident IMEKO, prof. Jiří Tesař, ředitel ČMI, prof. Kruno Miličević z Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology v chorvatském Osijeku, nebo odborník z NATO Communications and Information Agency (NCIA), Dr. Michael Street.

Jejich přednášky nabídnou pohled na aktuální vývoj v oblasti měřicí techniky, metrologie a moderních testovacích metod.

Další důležité informace najdete na oficiálních webových stránkách konference: <https://imeko2026.fel.cvut.cz/>.



Obr. 1: Výroční zasedání Technické rady a Generální rady IMEKO v Praze, srpen 2025



IMEKO TC4 | Mezinárodní konference

27. konference IMEKO TC4 2026
se speciální technickou sekcí TC11



KONFERENCE

MEASURING THE FUTURE



16. - 18. září 2026



**ČVUT FEL, Technická 2,
Praha 6 (Kampus Dejvice)**

Srdečně vás zveme na konferenci zaměřenou na moderní metody měření a instrumentace, kalibraci a metrologii, pokročilé senzory a zpracování signálů a jejich aplikace v energetice, e-mobilitě, průmyslové automatizaci a nových technologiích.



Registrace a více informací:
<https://imeko2026.fel.cvut.cz/>



imeko2026@fel.cvut.cz

ANALÝZA ROZPTYLU A METODY MNOHONÁSOBNÝCH POROVNÁVÁNÍ JAKO PROSTŘEDKY VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

Západočeská univerzita v Plzni, FEL

Doc. Ing. František Tůma, CSc.

Západočeská univerzita v Plzni, FAV

Úvod

V návaznosti na články Metodika DOE a její uplatnění v praxi – část I. a II., uveřejněné v číslech Metrologie 3/2022 a 4/2022, byla v článku Metodika DOE a její zjednodušené verze, uveřejněném v Metrologii 3/2025, popsána určitá zjednodušení, která povedou k významnému zmenšení počtu jednotlivých pokusů.

V člancích v r. 2022 bylo konstatováno, že nejvyšší stupeň organizovanosti experimentů vykazuje úplný faktorový experiment s ekvidistantními vzdálenostmi úrovní. Takové experimenty jsou však svým rozsahem obvykle náročné časově i finančně. Proto, pokud je to možné, snažíme se experimenty zjednodušit, abychom i při menším počtu replikací získali dostatečnou informaci o sledovaném objektu. V člancích byly také vysvětleny základní pojmy (např. rozdíl mezi pojmy **pokus** a **experiment**, vzorkování, navrhování a tvorba experimentů DOE – Design of Experiments, analýza rozptylu ANOVA – Analysis of Variance), základní kroky potřebné pro navrhování, experimenty s tzv. elementární organizací, experimenty faktorové a jejich výhody použití, modely odezvy pro jednofaktorový experiment, dvoufaktorový experiment s interakcemi i bez interakcí a třífaktorový experiment bez interakcí nebo s interakcemi 1., popř. 2. řádu. Dále byla popsána realizace experimentu a poté i analýza a vyhodnocení experimentu. Také byla zmíněna metoda ANOVA, která na základě rozboru variability pozorovaných hodnot náhodných veličin umožňuje dělat závěry o parametrech (a_i , b_j , c_k atd.) zvolených modelů odezvy. Analýza rozptylu a metody mnohonásobných porovnávání jsou vhodnými nástroji pro statistické vyhodnocování výsledků experimentů.

V článku uvedeném v Metrologii 3/2025 s názvem „Metodika DOE a její zjednodušené verze“ byly uvedeny jednotlivé typy faktorových experimentů a jejich možná zjednodušení.

Nyní se podrobněji zaměříme na vyhodnocování jednotlivých faktorových experimentů metodou analýzy rozptylu a vysvětlíme rozdíly ve výpočtech faktorových experimentů s interakcemi a bez interakcí. Další část tohoto článku se zabývá metodami mnohonásobného porovnávání, které blíže upřesní, jaké výsledky v jednotlivých řádcích, sloupcích nebo vrstvách vedou k zamítnutí hypotézy, i když některé rozdíly mezi jednotlivými výsledky nejsou statisticky významné.

1. Faktoriální experimenty obecně

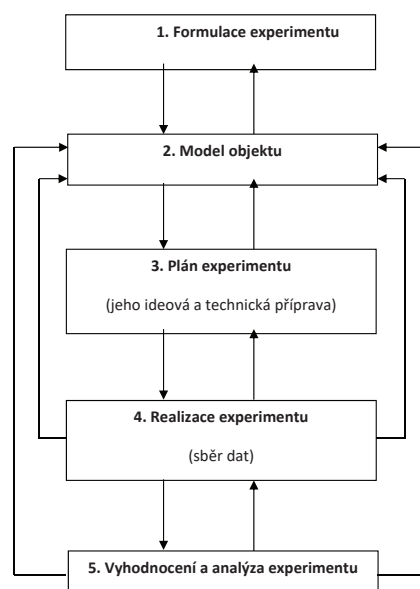
Faktoriální experimenty poskytují metodiku pro studium vzájemných vztahů mezi mnoha faktory, které jsou v experimentu uvedeny a jejichž možný vliv experimentátor sleduje. Takové experimenty jsou mnohem účinnější než experimenty, kdy jsou jednotlivé faktory sledovány odděleně. [5] [15]

Každý experiment se skládá z následujících kroků:

- Návrh a rozsah veličin vstupujících do experimentu – získáme formulaci experimentu
- Redukce počtu parametrů (faktorů) – připravíme model objektu
- Provedení experimentu podle schváleného návrhu a podle předepsaných podmínek – připravíme plán experimentu a provedeme jeho realizaci
- Analýza a zhodnocení výsledků
- Závěry pro další řešení

Tento postup lze také vyjádřit i graficky, a to včetně vazeb mezi jednotlivými částmi. V každé další části návrhu se můžeme vracet, abychom předchozí část vhodně upravili.

V tomto článku je řešena 5. část experimentu (**obr. 1**).



Obr. 1: Graf jednotlivých částí experimentu a jejich vzájemné vztahy

Základní vztahy pro součty a aritmetické průměry

Označíme součty náhodných veličin X_i tak, že tečky znamenají obor, přes který se součet stanoví, pak platí:

$$X_i = \sum_{p=1}^{n_i} X_{ip} \quad X_{..} = \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} X_{ip} \quad (1.0.1)$$

Všechny výběry dohromady:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_I \quad (1.0.2)$$

Průměry se označují malým písmenem x:

$$x_{i\cdot} = \frac{1}{n_i} \sum_{p=1}^{n_i} X_{ip} = \frac{X_{i\cdot}}{n_i}, \quad i = 1, \dots, I \quad (1.0.3)$$

$$x_{\cdot p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} X_{ip} = \frac{X_{\cdot p}}{n}, \quad p = 1, \dots, P \quad (1.0.4)$$

2. Analýza rozptylu

Analýza rozptylu je metoda, která na základě rozboru variability pozorovaných hodnot náhodných veličin X umožňuje dělat závěry o parametrech a_i , b_j , c_k atd. Parametry a , b , c můžeme také nazývat efekty. Tímto způsobem porovnáváme větší počet náhodných výběrů, které jsou navzájem nezávislé. Prověřujeme hypotézu $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_M$, kde $m > 2$ a μ jsou střední hodnoty základních souborů s normálním rozdělením a rozptylem σ^2 . Analýzu rozptylu lze chápat také jako zobecnění t -testu.

Pokud jsou úrovně všech faktorů předem zvoleny v možnostech úrovní těchto faktorů, pak se jedná o analýzu rozptylu s pevnými efekty. Tento model se někdy nazývá „model 1“.

Pokud se předpokládá, že úrovně všech faktorů byly náhodně vybrány z různých možných úrovní faktorů, jedná se o „model 2“.

Pokud jsou úrovně některých faktorů předem zvoleny a úrovně jiných faktorů vybrány náhodně, jedná se o model smíšený, nazývaný „model 3“.

Matematicky se provádí jak odhad rozptylu uvnitř tříd (tzv. reziduální rozptyl) SS_e/f_e , nebo S_e/f_e , tak odhad rozptylu mezi třídami SS_x/f_x nebo S_x/f_x (značení se provádí podle konkrétní třídy).

Odhad rozptylu mezi třídami je nestranným odhadem σ^2 pouze tehdy, když platí hypotéza H_0 . Když H_0 neplatí, budou se odhady rozptylů mezi třídou a uvnitř třídy statisticky významně lišit. Příčinou je to, že se alespoň jedna hodnota, v případě jednofaktorového experimentu dle modelu $X_i = \mu + a_i + e_i$, odlišuje od ostatních.

Testování hypotézy H_0 provedeme prakticky tak, že F -testem posoudíme významnost rozdílů odhadů rozptylů mezi třídami a uvnitř tříd.

$$F = \frac{\text{rozptyl mezi třídami } S_{\cdot\cdot}/f_{\cdot\cdot}}{\text{rozptyl uvnitř tříd } S_e/f_e} \quad (2.0.1)$$

Statistika F má Snedecorovo rozdělení o počtu stupňů volnosti, daném typem experimentu a počtem faktorů, $f_1 = m - 1, f_2 = m(n-1)$.

Hypotézu H_0 zamítáme, pokud vypočtené

$$F_{\text{vypočtené}} > F_{m-1, m(n-1)}(\alpha).$$

Hypotézu H_0 také zamítáme, pokud vypočtené

$$P_{\text{vypočtené}} < P(\alpha).$$

Naopak, je-li $F_{\text{vypočtené}} < F_{m-1, m(n-1)}(\alpha)$ nebo $P_{\text{vypočtené}} > P(\alpha)$, hypotézu H_0 nezamítáme. Počet stupňů volnosti pro výpočet F se liší mezi sebou podle konkrétního typu experimentu. Součet čtverců, např. S_A , znamená určení střední hodnoty získaných dat na všech úrovních faktoru A , počet stupňů volnosti $f = I - 1$ úrovní daného faktoru. Výpočty se zaznamenávají do přehledné tabulky.

2.1 Analýza rozptylu – jednofaktorový experiment:

Předpokládáme, že náhodné veličiny se řídí modelem M :

$$X_{ip} = \mu + a_i + e_{ip} \quad (2.1.1)$$

kde p počet replikací; $p = 1, \dots, n$,
 i počet úrovní faktoru A ,
 μ neznámá skutečná hodnota,
 a_i vliv faktoru A ,
 e_{ip} nezávislé náhodné chyby s rozdělením $N(0, \sigma^2)$.

Model je přeparametrizován, takže parametry $\mu, a_1, \dots, a_I$ nejsou odhadnutelné, neboť je to soustava rovnic se singulární maticí.

Odvodíme soustavu normálních rovnic:

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} (X_{ip} - \mu - a_i)^2 = 0 \quad (2.1.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial a_t} \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} (X_{ip} - \mu - a_i)^2 = 0, \text{ kde } t = 1, \dots, I \quad (2.1.3)$$

a po úpravě získáme:

$$n\mu + \sum_{i=1}^I n_i a_i = X_{\cdot\cdot} \quad (2.1.4)$$

$$n_i \mu + n_i a_i = X_{i\cdot} \quad (2.1.5)$$

Je zřejmé, že soustava (2.1.4) a (2.1.5) má singulární matici. Proto se k dané soustavě připojí tzv. reparametrizační matice, aby soustava měla právě jedno řešení.

$$\sum_{i=1}^I n_i a_i = 0 \quad (2.1.6)$$

Řešením soustavy rovnic (2.1.4), (2.1.5) a (2.1.6) jsou odhady parametrů

$$\hat{\mu} = x_{\cdot\cdot} \quad (2.1.7)$$

$$\hat{a}_i = x_{i\cdot} - x_{\cdot\cdot} \quad (2.1.8)$$

Odhadnutelný je každý parametr $EX_{ip} = \mu + a_i$ a jejich libovolná lineární kombinace. Odhadem pro $(\mu + a_i) = x_{\cdot\cdot}$.

Hypotézu H_0 lze přeformulovat do tvaru:

$$a_1 = \dots = a_I = 0. \quad (2.1.9)$$

To znamená, že v případě platnosti H_0 platí místo modelu M (2.1.1) submodel M_i :

$$X_{ip} = \mu + \varepsilon_{ip} \quad (2.1.10)$$

V případě submodelu odhadneme μ z rovnice:

$$\frac{\partial}{\partial \mu} \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} (X_{ip} - \mu)^2 = 0 \quad (2.1.11)$$

V případě modelu (2.1.1) je odhadem EX_{ip} veličina $\hat{\mu}_{ip} = x_{i.}$,

v případě submodelu (2.1.10) je odhadem EX_{ip} veličina $\hat{\nu}_{ip} = x_{.}$.

Platí, že

$$\hat{\mu}' \hat{\mu} = \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} \hat{\mu}_{ip}^2 = \sum_{i=1}^I n_i (x_{i.})^2 = \frac{(X_{i.})^2}{n_i} \quad (2.1.12)$$

$$\hat{\nu}' \hat{\nu} = \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} \hat{\nu}_{ip}^2 = n (x_{.})^2 = \frac{(X_{.})^2}{n} \quad (2.1.13)$$

Stanovíme součty čtverců jednotlivých zdrojů

$$S_A = (\hat{\mu} - \hat{\nu})' (\hat{\mu} - \hat{\nu}) = \sum (X_{i.})^2 / n_i - (X_{.})^2 / n \quad (2.1.14)$$

S_T je celkový součet čtverců:

$$S_T = \sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^{n_i} X_{ip}^2 - (X_{.})^2 / n \quad (2.1.15)$$

Pro reziduální součet čtverců platí:

$$S_e = S_T - S_A \quad (2.1.16)$$

Stupně volnosti:

$$f_A = I - 1$$

$$f_T = n - 1$$

$$f_e = n - I$$

Platnost modelu ověřujeme testovou veličinou:

$$F = \frac{(\hat{\mu} - \hat{\nu})' (\hat{\mu} - \hat{\nu}) / (r - r_1)}{(X - \hat{\mu})' (X - \hat{\mu}) / (n - r)} \quad (2.1.17)$$

kde r je hodnost matice soustavy (2.1.2) a (2.1.3),
 r_1 je hodnost matice soustavy (2.1.13).

V případě platnosti modelu M má tato veličina rozdělení $F_{r-r_1, n-r}$.

Je-li $r = I$, tzn. platí-li hypotéza H_0 , je

$$F_A = \frac{n - I}{I - 1} \frac{S_A}{S_e} \quad (2.1.18)$$

Platí-li hypotéza H_0 : $\mu_0 = \mu_1$ je $F_A \leq F_{krit}$, kde $F_{I-1, n-I}(\alpha)$ je tabelovaná hodnota na zvolené hladině významnosti α (obvykle 5 %).

Překročí-li testová veličina F kritickou hodnotu $F_{I-1, n-I}(\alpha)$, zamítáme hypotézu H_0 na hladině významnosti α . Metodami pro mnohonásobná porovnávání zjistíme, které úrovně faktoru se od sebe významně liší.

Poznámka: SW Excel je schopen počítat vyvážený i nevyvážený jednofaktorový experiment.

Příklad 1 (jednofaktorové vyvážené třídění):

Zadání: Tvrdosti kovového: materiálu vyrobeného na 3 různých výrobových pracovištích.

Rozhodněte, zda se tvrdost materiálu z jednotlivých pracovišť liší (hladina významnosti $\alpha = 0,05$).

	A	B	C
1	16,9	17,4	18,9
2	15,8	16,9	18,3
3	16,2	17,3	17,9
4	16,6	17,7	17,6
5	15,9	17,3	18,5
6	16,8	16,7	18,8

Anova: jeden faktor

Faktor

Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
A	6	98,2	16,36667	0,218667
B	6	103,3	17,21667	0,129667
C	6	110	18,33333	0,258667

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	11,67444	2	5,837222	28,84953	7,23E-06	3,68232
Všechny výběry	3,035	15	0,202333			
Celkem	14,70944	17				

Závěr: Z tabulky analýzy rozptylu je patrné, že $F_{vypočtené} > F_{kritické}$, a proto je statisticky významný rozdíl mezi hodnotami materiálů z jednotlivých pracovišť (A, B, C).

Příklad 2 (jednofaktorové vyvážené třídění):

Zadání: Testujte vliv 4 druhů hnojiva na určitou odrůdu brambor. Výnosy jsou zaznamenány v tabulce. ($\alpha = 0,05$).

a	b	c	d
17,6	22,7	23,3	16,8
18,9	26,1	20,4	16,2
21,2	24,8	20,4	16,5
22	24,6	23,7	17,3
20,5	23,9	21,8	20,9
19,7	21	22,2	14,8
23,6	26,3	22,5	18,6

Anova: jeden faktor

Faktor

Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
A	7	143,5	20,5	3,993333333
B	7	169,4	24,2	3,52
C	7	154,3	22,04285714	1,66952381
D	7	121,1	17,3	3,833333333

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	176,8696429	3	58,95654762	18,11791176	2,32734E-06	3,00878657
Všechny výběry	78,09714286	24	3,254047619			
Celkem	254,9667857	27				

Závěr: Z tabulky analýzy rozptylu je patrné, že je statisticky významný rozdíl mezi výsledky výnosů při použití různých hnojiv pro jeden druh odrůdy.

Příklad 3 (jednofaktorové nevyvážené třídění):

Zadání: Testujte vliv 4 druhů (a, b, c, d) hnojiva na určitou odrůdu brambor. Výnosy jsou zaznamenány v tabulce, na stejných plochách byly různé počty trsů (nevyvážené třídění). Pro výpočet byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

a	b	c	d
17,6	22,7	23,3	16,8
18,9	26,1	20,4	16,2
21,2	24,8	20,4	16,5
22	24,6	23,7	17,3
20,5		21,8	20,9
19,7			14,8
			18,6

Anova: jeden faktor

Faktor

Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
a	6	119,9	19,98333	2,549667
b	4	98,2	24,55	1,963333
c	5	109,6	21,92	2,427
d	7	121,1	17,3	3,833333

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	148,7537	3	49,58456	17,38239	1,49E-05	3,159908
Všechny výběry	51,34633	18	2,852574			
Celkem	200,1	21				

Závěr: Z tabulky analýzy rozptylu je patrné, že je statisticky významný rozdíl mezi výsledky výnosů při použití různých hnojiv pro sledovaný typ odrůdy.

2.2 Analýza rozptylu – dvoufaktorový experiment**a) bez interakcí:**

Někdy se celkový výběr rozpadá na skupiny proto, že musíme přihlížet ke dvěma třídícím znakům. Máme-li n_{ij} pokusů, označíme jejich odezvy $X_{ij1}, X_{ij2}, \dots, X_{ijn}$. Úkolem experimentu je zjistit, zda všechny úrovně faktoru A a všechny úrovně faktoru B mají na výsledky stejný vliv nebo zda některé z nich působí více než jiné. Další výklad je omezen na vyvážené experimenty.

Předpokládáme, že náhodné veličiny se řídí modelem M' :

$$X_{ijp} = \mu + a_i + b_j + e_{ijp} \quad (2.2.1)$$

Pokud se provádí **dvoufaktorový experiment bez interakcí**, lze provést výpočet i v případě, kdy počet replikací $P \geq I$.

Pro model platí rovnice (2.2.1), kde platí, že μ , a_i , b_j jsou neznámé parametry a e_{ijp} jsou nezávislé veličiny s rozdělením $N(0, \sigma^2)$, kde σ^2 je neznámý kladný parametr.

Celkový počet veličin

$$n = IJP. \quad (2.2.2)$$

Řešení dvoufaktorového experimentu bez interakcí má jiné výpočty S_e a f_e , a to ke sloučení vztahů reziduálních a interakčních (oproti experimentu s interakcemi), které se pak používají ve jmenovateli pro výpočty testové veličiny F .

Součty čtverců: Pro S_A platí rovnice stejné jako u experimentu s interakcemi.

$$S_e' = S_T - S_A - S_B \quad (2.2.3)$$

Stupně volnosti: Pro f_A platí

$$f_e' = n - I - J + 1 \quad (2.2.4)$$

Hypotéza H_0 bude zamítnuta, jestliže testová veličina

$$F = \frac{S/f}{S_e'/f_e'} \geq F_{f, f_e'}(\alpha) \quad (2.2.5)$$

Metodami mnohonásobného porovnávání můžeme určit, které dvojice řádků nebo sloupců se od sebe významně liší a způsobí zamítnutí hypotézy.

Tab. 1: Tabulka analýzy rozptylu (dvoufaktorový experiment bez interakcí)

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupně volnosti	Odhad rozptylu	Testová veličina	Kritická hodnota
faktor A	SS_A	f_A	SS_A/f_A	$F_A = \frac{SS_A/f_A}{SS_e'/f_e'}$	$F_{f_A, f_e'}(\alpha)$
faktor B	SS_B	f_B	SS_B/f_B	$F_B = \frac{SS_B/f_B}{SS_e'/f_e'}$	$F_{f_B, f_e'}(\alpha)$
reziduální	SS_e	f_e	SS_e/f_e	----	----
celkový	SS_T	f_T	----	----	----

Příklad 4

Zadání: Testujte, zda počet hlášených neshod závisí na pracovišti a zda závisí na určitém měsíci v roce. (Pro výpočet byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,05$).

Měsíce	Pracoviště		
	A	B	C
Leden	335	341	339
Únor	334	340	331
Březen	335	335	333
Duben	337	339	335
Květen	335	335	340
Červen	345	342	343
Červenec	345	341	338
Srpen	339	338	338
Září	334	336	332
Říjen	337	336	334
Listopad	339	335	336
Prosinec	335	340	336

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Leden	3	1015	338,3333	9,333333
Únor	3	1005	335	21
Březen	3	1003	334,3333	1,333333
Duben	3	1011	337	4
Květen	3	1010	336,6667	8,333333
Červen	3	1030	343,3333	2,333333
Červenec	3	1024	341,3333	12,333333
Srpen	3	1015	338,3333	0,333333
Září	3	1002	334	4
Říjen	3	1007	335,6667	2,333333
Listopad	3	1010	336,6667	4,333333
Prosinec	3	1011	337	7
A	12	4050	337,5	15,18182
B	12	4058	338,1667	7,060606
C	12	4035	336,25	12,38636

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Řádky	250,3056	11	22,75505	3,832837	0,003545	2,258518
Sloupce	22,72222	2	11,36111	1,913654	0,171309	3,443357
Reziduální	130,6111	22	5,936869			
Celkem	403,6389	35				

Závěr: z tabulky je patrné, že je statisticky významný rozdíl mezi řádky (tj. mezi jednotlivými měsíci, $F_{\text{vypočtená}} > F_{\text{kritická}}$).

$P_{\text{vypočtená}} < P_{\alpha=0,05}$), ale není statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými sloupci (tzn. mezi jednotlivými pracovišti, $F_{\text{vypočtená}} < F_{\text{kritická}}$, $P_{\text{vypočtená}} > P_{\alpha=0,05}$).

b) s interakcemi 1. řádu:

Pokud vzájemné působení jednoho faktoru na druhý ovlivňuje výsledky experimentu, pak se náhodné veličiny řídí modelem M :

$$X_{ijp} = \mu + a_i + b_j + t_{ij} + e_{ijp} \quad (2.2.6)$$

kde μ je neznámá skutečná hodnota, neznámé parametry a_i , b_j , t_{ij} a e_{ijp} jsou nezávislé náhodné veličiny s rozdělením $N(0, \sigma^2)$, kde σ^2 je neznámý kladný parametr. Parametry t_{ij} se nazývají interakce.

Platí $i=1,2,\dots,I$; $j=1,2,\dots,J$; $p=1,2,\dots,P$.

Pro dvoufaktorový experiment s interakcemi platí podmínka, že počet replikací $P \geq 2$.

Derivováním výrazu:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P (X_{ijp} - \mu - a_i - b_j - t_{ij})^2 \quad (2.2.7)$$

získáme soustavu rovnic, kde počet rovnic je

$$IJ + I + J + 1 = (I+1)(J+1) \quad (2.2.8)$$

Hodnota matice soustavy $= IJ$, tzn., že je $I+J+1$ nadbytečných rovnic a není jednoznačné řešení. Proto se volí reparametrizační podmínky:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I a_i &= 0 & \sum_{j=1}^J b_j &= 0 \\ \sum_{i=0}^I t_{ij} &= 0 & \sum_{j=1}^J t_{ij} &= 0 \end{aligned} \quad (2.2.9)$$

Řešením této soustavy jsou odhady parametrů:

$$\hat{\mu} = x_{..} \quad (2.2.10)$$

$$\hat{a}_i = x_{i.} - x_{..} \quad (2.2.11)$$

$$\hat{b}_j = x_{.j} - x_{..} \quad (2.2.12)$$

$$\hat{t}_{ij} = x_{ij.} - \hat{\mu} - \hat{a}_i - \hat{b}_j = x_{ij.} - x_{i.} - x_{.j} + x_{..} \quad (2.2.13)$$

Odhadem pro střední hodnotu EX_{ijp} je v modelu M

$$\hat{\mu} + \hat{a}_i + \hat{b}_j + \hat{t}_{ij} = x_{ij.} \quad (2.2.14)$$

Testujeme jednotlivé submodely

$$M_1: X_{ijp} = \mu + a_i + b_j + e_{ijp} \quad (2.2.15)$$

$$M_2: X_{ijp} = \mu + a_i + e_{ijp} \quad (2.2.16)$$

$$M_3: X_{ijp} = \mu_i + e_{ijp} \quad (2.2.17)$$

Označíme součty čtverců:

$$S_A = \frac{1}{JP} \sum_{j=1}^J X_{j..}^2 - \frac{1}{n} X_{...}^2 \quad (2.2.18)$$

$$S_B = \frac{1}{IP} \sum_{i=1}^I X_{i..}^2 - \frac{1}{n} X_{...}^2 \quad (2.2.19)$$

$$S_e = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P X_{ijp}^2 - \frac{1}{P} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij.}^2 \quad (2.2.20)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P X_{ijp}^2 - \frac{1}{P} X_{...}^2 \quad (2.2.21)$$

$$S_{AB} = S_T - S_A - S_B - S_e \quad (2.2.22)$$

Počet stupňů volnosti:

$$f_A = I - 1 \quad (2.2.23)$$

$$f_B = J - 1 \quad (2.2.24)$$

$$f_e = n - IJ \quad (2.2.25)$$

$$f_T = n - 1 \quad (2.2.26)$$

$$f_{AB} = (I - 1)(J - 1) \quad (2.2.27)$$

Vliv řádkových nebo sloupcových faktorů je prokázán na hladině významnosti α , jestliže příslušná testová veličina $F_{\text{vypočtená}} > F_{\text{kritická}}$.

$$F = \frac{S/f}{S_e/f_e} \geq F_{f, f_e}(\alpha) \quad (2.2.28)$$

Tab. 2: Tabulka analýzy rozptylu (dvoufaktorový experiment s interakcemi)

Zdroj variability	Součet čtverců	Stupně volnosti	Odhad rozptylu	Testová veličina	Kritická hodnota
faktor A	SS_A	f_A	SS_A/f_A	$F_A = \frac{SS_A/f_A}{SS_e/f_e}$	$F_{f_A, f_e}(\alpha)$
faktor B	SS_B	f_B	SS_B/f_B	$F_B = \frac{SS_B/f_B}{SS_e/f_e}$	$F_{f_B, f_e}(\alpha)$
interakce AB	SS_{AB}	f_{AB}	SS_{AB}/f_{AB}	$F_{AB} = \frac{SS_{AB}/f_{AB}}{SS_e/f_e}$	$F_{f_{AB}, f_e}(\alpha)$
reziduální	SS_e	f_e	SS_e/f_e	----	----
celkový	SS_T	f_T	----	----	----

Příklad 5

Zadání: Testujte na hladině významnosti 5 %, zda existují statisticky významné rozdíly mezi 4 svářeči a 2 metodami sváření a zda mezi faktory existují interakce.

	B1	B2	B3	B4
Metoda 1	0	0	5	3
	3	1	5	4
	4	3	6	2
Metoda 2	4	2	7	8
	5	4	6	6
	7	5	8	9

Anova: dva faktory s opakováním

Faktor	B1	B2	B3	B4	Celkem
Metoda 1					
Počet	3	3	3	3	12
Součet	7	4	16	9	36
Průměr	2,333333	1,333333	5,333333	3	3
Rozptyl	4,333333	2,333333	0,333333	1	3,818182

Metoda 2					
Počet	3	3	3	3	12
Součet	16	11	21	23	71
Průměr	5,333333	3,666667	7	7,666667	5,916667
Rozptyl	2,333333	2,333333	1	2,333333	4,083333

Celkem					
Počet	6	6	6	6	
Součet	23	15	37	32	
Průměr	3,833333	2,5	6,166667	5,333333	
Rozptyl	5,366667	3,5	1,366667	7,866667	

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Výběr	51,04167	1	51,04167	25,52083	0,000118	4,493998
Sloupce	47,45833	3	15,81944	7,909722	0,00185	3,238872
Interakce	7,458333	3	2,486111	1,243056	0,326984	3,238872
Reziduální	32	16	2			
Celkem	137,9583	23				

Závěr: Z tabulky je patrné, že je statisticky významný rozdíl mezi řádky ($F_{\text{vypočtená}} > F_{\text{kritická}}$, $P_{\text{vypočtená}} < P_{\text{alfa}} = 0,05$), tedy mezi metodou 1 a 2, i mezi jednotlivými sloupci ($F_{\text{vypočtená}} > F_{\text{kritická}}$, $P_{\text{vypočtená}} < P_{\text{alfa}} = 0,05$), tzn. mezi jednotlivými svářeči, ale není statisticky významný rozdíl interakcí ($F_{\text{vypočtená}} < F_{\text{kritická}}$, $P_{\text{vypočtená}} > P_{\text{alfa}} = 0,05$).

Metodami mnohonásobného porovnávání můžeme určit, které dvojice řádků nebo sloupců se od sebe významně liší a způsobí zamítnutí hypotézy.

Příklad 6

Zadání: Jsou zjišťovány výnosy plodiny v závislosti na typu půdy (TP1, TP2) a způsobu hnojení (H1, H2, H3).

Zároveň se zjišťuje, zda některé hnojivo je v určité půdě účinnější než jiné. Měření v každé kombinaci bylo provedeno čtyřikrát. Pro výpočet byla zvolena hladina významnosti $\alpha = 0,05$.

	H1	H2	H3
TP1	28	37	34
TP1	32	36	38
TP1	30	39	37
TP1	30	36	36
TP2	31	34	42
TP2	27	34	40
TP2	30	30	41
TP2	29	38	39

Anova: dva faktory s opakováním

Faktor	H1	H2	H3	Celkem
--------	----	----	----	--------

T1

T1	4	4	4	12
Součet	120	148	145	413
Průměr	30	37	36,25	34,41667
Rozptyl	2,666667	2	2,916667	12,81061

T2

Počet	4	4	4	12
Součet	117	136	162	415
Průměr	29,25	34	40,5	34,58333
Rozptyl	2,916667	10,66667	1,666667	27,35606

Celkem

Počet	8	8	8
Součet	237	284	307
Průměr	29,625	35,5	38,375
Rozptyl	2,553571	8	7,125

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Výběr	0,166667	1	0,166667	0,043796	0,836585	4,413873
Sloupce	318,25	2	159,125	41,81387	1,72E-07	3,554557
Interakce	55,08333	2	27,54167	7,237226	0,004938	3,554557
Reziduální	68,5	18	3,805556			
Celkem	442	23				

Závěr: Z tabulky je patrné, že není statisticky významný rozdíl mezi řádky ($F_{\text{vypočtená}} < F_{\text{kritická}}$), ale je mezi jednotlivými sloupci ($F_{\text{vypočtená}} > F_{\text{kritická}}$, $P_{\text{vypočtená}} < P_{\text{alfa}} = 0,05$), i interakcemi. To znamená, že je statisticky významný rozdíl mezi způsoby hnojení i statisticky významný vliv hnojiv v určitém typu půdy.

2.3 Analýza rozptylu – třífaktorový experiment

Třífaktorový experiment je rozšířením dvoufaktorového experimentu o další faktor (vrstvu). Opět u výpočtů platí, že pro jednotlivé modely (bez interakcí nebo s interakcemi 1., popř. 2. řádu) se liší výpočty reziduálních součtů čtverců Se i výpočty reziduálních stupňů volnosti fe , a proto nelze jednotlivé modely libovolně zaměňovat.

Pokud se celkový výběr třídí podle tří znaků (tj. A řádků, B sloupců a C vrstev), hovoříme o třífaktorovém experimentu. Modely náhodných veličin odvodíme analogicky.

Předpokládáme, že náhodné veličiny se řídí těmito vztahy: a) model bez interakcí:

$$X_{ijkp} = \mu + a_i + b_j + c_k + e_{ijkp} \quad (2.3.1)$$

b) model s interakcemi 1. řádu:

$$X_{ijkp} = \mu + a_i + b_j + c_k + t_{ij} + t_{ik} + t_{jk} + e_{ijkp} \quad (2.3.2)$$

c) model s interakcemi 2. řádu

$$X_{ijkp} = \mu + a_i + b_j + c_k + t_{ij} + t_{ik} + t_{jk} + t_{ijk} + e_{ijkp}, \quad (2.3.3)$$

kde

a_i, b_j, c_k jsou vlivy faktorů A, B, C

t_{ij}, t_{ik}, t_{jk} jsou vlivy interakcí mezi 2 faktory, interakce 1. řádu

t_{ijk} je vliv interakcí mezi 3 faktory, interakce 2. řádu
 e_{ijkp} nezávislá náhodná chyba s rozdělením $N(0, \sigma^2)$.

Celkový počet pozorování $n = IJKP$, při úplném modelu s interakcemi 2. řádu (2.3.3) platí, že počet opakování musí být nejméně $P \geq 2$.

Za platnosti modelu M (2.3.3) lze dokázat, že platí tyto odhady pro neznámé parametry:

$$\hat{\mu} = x... \quad (2.3.4)$$

$$\hat{a}_i = x_i... - x... \quad (2.3.5)$$

$$\hat{b}_j = x..._j - x... \quad (2.3.6)$$

$$\hat{c}_k = x..._k - x... \quad (2.3.7)$$

$$\hat{t}_{ij} = x_{ij}... - x_i... - x..._j + x... \quad (2.3.8)$$

$$\hat{t}_{ik} = x_{i.k} - x_i... - x..._k + x... \quad (2.3.9)$$

$$\hat{t}_{jk} = x..._k - x..._j - x..._k + x... \quad (2.3.10)$$

$$\hat{t}_{ijk} = x_{ijk} - x_{ij}... - x_{i.k} - x..._k + x_i... + x..._j + x..._k - x... \quad (2.3.11)$$

Postupně se tvoří řada submodelů tím, že jednotlivé parametry v modelu (2.3.3) pokládáme za nulové. Testováním jednotlivých submodelů se získají součty čtverců:

$$S_A = \frac{1}{JKP} \sum_{i=1}^I X_i^2 - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.12)$$

$$S_B = \frac{1}{IKP} \sum_{j=1}^J X_j^2 - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.13.)$$

$$S_C = \frac{1}{IJP} \sum X^2_{\cdot k} - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.14)$$

$$S_{AB} = \frac{1}{KP} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X^2_{ij\cdot} - S_A - S_B - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.15)$$

$$S_{AC} = \frac{1}{JP} \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K X^2_{i\cdot k} - S_A - S_C - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.16)$$

$$S_{BC} = \frac{1}{IP} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X^2_{\cdot jk} - S_B - S_C - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.17)$$

$$S_{ABC} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X^2_{ijk} - S_A - S_B - S_C - S_{AB} - S_{AC} - S_{BC} - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.18)$$

$$S_e = S_T - S_A - S_B - S_C - S_{AB} - S_{AC} - S_{BC} - S_{ABC} \quad (2.3.19)$$

$$S_T = \frac{1}{I} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P X^2_{ijkp} - \frac{1}{n} X^2 \dots \quad (2.3.20)$$

Pro stupně volnosti platí vztahy:

$$f_A = I - 1 \quad (2.3.21)$$

$$f_B = J - 1 \quad (2.3.22)$$

$$f_C = K - 1 \quad (2.3.23)$$

$$f_{AB} = (I - 1)(J - 1) \quad (2.3.24)$$

$$f_{AC} = (I - 1)(K - 1) \quad (2.3.25)$$

$$f_{BC} = (J - 1)(K - 1) \quad (2.3.26)$$

$$f_{ABC} = (I - 1)(J - 1)(K - 1) \quad (2.3.27)$$

$$f_e = n - IJK \quad (2.3.28)$$

$$f_T = n - 1 \quad (2.3.29)$$

Testová veličina

$$F = \frac{S/f}{S_e/f_e} \quad (2.3.30)$$

Pokud uvažujeme pouze **interakce 1. řádu**, použijeme model M' podle rovnice (2.3.2). Tento model lze použít i v případě, že počet replikací $P \geq 1$.

Lze opět dokázat, že dojde ke sloučení vztahů

$$S'_e = S_e + S_{ABC} \quad (2.3.31)$$

$$S'_e = S_T - S_A - S_B - S_C - S_{AB} - S_{AC} - S_{BC} \quad (2.3.32)$$

a změni se reziduální stupeň volnosti:

$$f'_e = f_e + f_{ABC} \quad (2.3.33)$$

$$f'_e = n - IJK + (I - 1)(J - 1)(K - 1), \quad (2.3.34)$$

a tím i testová veličina

$$F = \frac{S/f}{S'_e/f'_e} \quad (2.3.35)$$

V případě, že použijeme **model bez interakcí** (2.3.1), změni se reziduální součet čtverců:

$$S''_e = S_T - S_A - S_B - S_C \quad (2.3.36)$$

a reziduální stupeň volnosti:

$$f''_e = n - I - J - K + 2 \quad (2.3.37)$$

a dochází i ke změně testové veličiny:

$$F'' = \frac{S/f}{S''_e/f''_e} \quad (2.3.38)$$

Pokud jsou vypočtené testové veličiny větší než je kritická testová hodnota na hladině významnosti α , je prokázán vliv řádkových, sloupcových nebo vrstevných efektů, popř. vliv interakcí mezi nimi, a zamítá se hypotéza H_0 na dané hladině významnosti α .

Poznámka:

V Excelu není program pro tyto a vícefaktorové analýzy. Výpočty je možné realizovat jinými rozsáhlejšími software nebo vlastním naprogramováním.

3 Metody mnohonásobných porovnávání

Metody mnohonásobného porovnávání umožňují rozestat, které náhodné veličiny uvedené v řádcích či sloupcích tabulky naměřených hodnot jsou natolik odlišné, že způsobily zamítnutí hypotézy H_0 . Z celé řady různých metodik (např. Studentova-Newmanova-Keulsova metoda, Kruskalova-Wallisova metoda, Dunnettův postup, Duncanova metoda) jsou zde uvedeny jen dvě.

3.1 Scheffého metoda

Pro testování hypotézy $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_m$ se využívá tzv. Scheffého věta. Předpokládáme, že $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)'$ je náhodný vektor, kde $X \sim N(\mu, \sigma^2 V)$, kde $V > 0$ je známá pozitivně definitní matice a $\sigma^2 > 0$ neznámý parametr.

Pak pravděpodobnost, že nerovnost

$$|a'X - a'\mu| \leq \sqrt{ts^2 F_{t,v}(\alpha) a'Va} \quad (3.1.1)$$

platí pro všechna $a \in A$ současně, je rovna $(1 - \alpha)$.

Důkaz věty je např. v [2].

Předpokládáme vektor $\mu' = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)'$, $V = (v_{ij})$. Scheffého větu použijeme pro testování hypotézy $H_0: \mu_1 = \dots = \mu_m$. Hypotéza platí jen tehdy, když $a'_{ij}\mu = 0$ pro všechny takové vektory $a = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, které splňují podmínku $a_1 + a_2 + \dots + a_m = 0$. Množinu vektorů a tvoří podprostor A dimenze $t = m - 1$ v prostoru R_m .

Chceme-li ověřit, zda platí $\mu_i = \mu_j$ postupně pro všechny dvojice (i,j) , kde $i \neq j$, zavedeme vektory a_{ij} , které mají i -tou složku rovnu 1, j -tou složku rovnu -1 a ostatní složky rovny nule. Pak $\mu_i = \mu_j$ platí právě tehdy, když $a_{ij}'\mu = 0$

Protože $t = m-1$, vektor $a_{ij}'X = X_i - X_j$, vektor $a_{ij}'Va_{ij} = v_{ii} + v_{jj} - v_{ij} - v_{ji}$, platí podle Scheffého věty nerovnost

$$|X_i - X_j| \leq \left[(v_{ii} + v_{jj} - v_{ij} - v_{ji})(m-1)s^2 F_{m-1,v}(\alpha) \right]^{0.5} \quad (3.1.2)$$

pro všechny dvojice současně s pravděpodobností nejméně $(1-\alpha)$. Jestliže pro některou dvojici platí obrácená nerovnost, zamítneme hypotézu H_0 :

$$|X_i - X_j| > \left[(v_{ii} + v_{jj} - v_{ij} - v_{ji})(m-1)s^2 F_{m-1,v}(\alpha) \right]^{0.5} \quad (3.1.3)$$

Touto metodou je přímo určena dvojice (i,j) , popř. i více dvojic, kde se zamítá rovnost $\mu_i = \mu_j$.

V aplikacích se setkáváme se situací, že složky vektoru X jsou nezávislé. Pak matice V je diagonální a nerovnost se redukuje na vztah

$$|X_i - X_j| > \left[(v_{ii} + v_{jj})(m-1)s^2 F_{m-1,v}(\alpha) \right]^{0.5} \quad (3.1.4)$$

Velkou výhodou Scheffého metody je její obecnost. Naproti tomu v porovnání s jinými metodami je méně citlivá.

3.2 Tukeyova metoda

Tukeyovy věty se používá v souvislosti s testováním hypotézy

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_m.$$

Nechť $X_1, \dots, X_m$ jsou nezávislé náhodné veličiny. Předpokládáme, že $X_i \sim N(\mu, b^2 \sigma^2)$, $i = 1, 2, \dots, m$, kde $b > 0$ je známá konstanta. Nechť s^2 je nezávislý odhad rozptylu σ^2 s v stupni volnosti, tzn., že vs^2/σ^2 má rozložení χ_v^2 .

$$\text{Položme } T = b q_{m,v}(\alpha) \quad (3.2.1)$$

Pak pravděpodobnost, že platí

$$X_i - X_j - Ts \leq \mu_i - \mu_j \leq X_i - X_j + Ts \quad (3.2.2)$$

pro všechny dvojice (i,j) současně, je rovna $(1-\alpha)$. Důkaz je např. v [1].

Platí-li H_0 , pak všechny intervaly

$$\langle X_i - X_j - Ts, X_i - X_j + Ts \rangle$$

překrývají nulu s pravděpodobností $(1-\alpha)$.

Jestliže některý interval nulu nepřekrývá, tedy

$$|X_i - X_j| > Ts \quad (3.2.3)$$

pro některou dvojici (i,j) , pak platí $\mu_i \neq \mu_j$. Tento postup opět ukazuje v případě zamítnutí hypotézy H_0 dvojici popř. dvojice, které k tomuto zamítnutí vedly.

Hodnoty X_i , X_j tabulky naměřených hodnot, s^2 je nezávislý odhad rozptylu σ^2 o počtu stupňů volnosti v .

Parametr $T = b q_{m,v}(\alpha)$, kde $q_{m,v}$ je rozdělení studentizovaného rozptylu.

To znamená, že uvedenými metodami (3.1 nebo 3.2) porovnáváme absolutní rozdíly mezi výsledky jednotlivých řádků, popř. sloupců nebo vrstev. Máme-li např. v tabulce naměřených hodnot 5 řádků a 4 sloupce, pak porovnáváme absolutní rozdíly mezi řádky 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 2-3, 2-4, 2-5, 3-4, 3-5 a 4-5. Stejně tak tomu je u sloupců, kde zjišťujeme absolutní rozdíly mezi 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 a 3-4. Pak ten rozdíl, který překročí kritickou hodnotu, způsobil zamítnutí hypotézy H_0 . Stačí zjistit, jaké důvody vedly k tak velkému rozdílu, v některých případech lze i příslušný řádek (nebo sloupec) přeměřit nebo podle okolností i vyřadit.

4. Závěr

Tento příspěvek se zabývá vyhodnocením naměřených dat metodou analýzy rozptylu. Jsou zde uvedeny teoretické základy, které vedou ke správnému pochopení, výběru a použití software. Pro jednofaktorovou a dvoufaktorovou analýzu lze použít snadno dostupný Excel, pro vícefaktorové experimenty musí uživatel použít jiný statistický program.

Zároveň je vhodné upozornit, že musíme sledovat, zda se nevyskytuje falešná kauzalita mezi hodnotami, zejména u modelů s interakcemi.

Korelace znamená vzájemný vztah mezi dvěma procesy nebo veličinami. Pokud se jedna z nich mění, mění se korelativně i druhá a naopak. Pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je pravděpodobné, že na sobě závisí, nelze z toho však ještě usoudit, že by jeden z nich musel být příčinou a druhý následkem. Korelace je vědecká zásada, která připomíná, že pokud nějaké dva jevy často následují po sobě nebo pokud nějaké dvě proměnné spolu korelují, nelze z toho ještě vyvozovat, že jedna je příčinou a druhá kauzálním následkem. Takový závěr by byl logicky chybný, a tedy neplatný. Kauzalita (z lat. *causa*, příčina) znamená příčinnost, kauzální vztah mezi příčinou a jejím následkem. Korelace je nutnou, ale nikoli postačující podmínkou kauzality.

K této logické chybě občas dochází zejména při vyhodnocování statistických výsledků jak v přírodních, tak také ve společenských vědách.

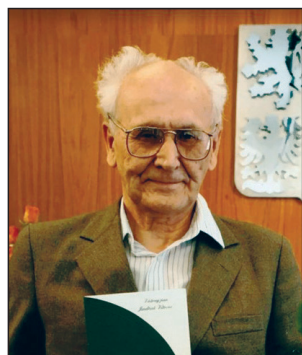
Literatura:

- [1] Likeš, J.: Navrhování průmyslových experimentů, SNTL Praha 1968
- [2] Anděl, J.: Matematická statistika, SNTL Praha 1978
- [3] Meloun, Milotky: *Statistické zpracování experimentálních dat*. Edice PLUS, Praha 1994

- [4] Tůmová, O.: Infrahluk v dopravních prostředcích (statistické vyhodnocení); dílčí VZ pro SVÚ III-09-5/02, VŠSE Plzeň 1990
- [5] Tůmová, O.: Měření signálů s velmi nízkými kmitočty; disertační práce, VŠSE Plzeň/ ČVUT Praha 1990
- [6] Tůmová, O.: Statistické vyhodnocení charakteru toxických účinků etanolu ovlivněných vysokými dávkami vitamínu C, výzkumná zpráva pro LF UK v Plzni, Plzeň 1996
- [7] Tůmová, O.: Statistické vyhodnocení dynamického charakteru toxických účinků etanolu, výzkumná zpráva pro LF UK v Plzni, Plzeň 1996
- [8] Tůmová, O.: Navrhování experimentů a jejich vyhodnocování v praxi; habilitační práce, ZČU Plzeň 1996
- [9] Tůmová, O.: Vybrané partie teorie měření a experimentů, preprint ZČU, 1997
- [10] Zloch, Z., Tůmová, O.: Hodnocení některých patobiologických reakcí hlodavců na akutní a chronickou intoxikaci alkoholem; sborník abstrakt MEDI 97, vědecké konference Plzeňské lékařské dny a Akutní stavy v medicíně, Plzeň 1997
- [11] Tůmová, O., Zloch, Z.: Statistické vyhodnocení vlivu omezeného příjmu potravy na různé ukazatele oxidačního poškození a antioxidační ochrany (1. díl), výzkumná zpráva pro LF UK v Plzni, Plzeň 2003
- [12] Tůmová, O., Zloch, Z.: Statistické vyhodnocení vlivu omezeného příjmu potravy na různé ukazatele oxidačního poškození a antioxidační ochrany (2. díl), výzkumná zpráva pro LF UK v Plzni, Plzeň 2004
- [13] Tůmová, O., Zloch, Z.: Statistické vyhodnocení vlivu potravní restrikce na ukazatele antioxidační ochrany a oxidačního poškození, výzkumná zpráva pro LF UK v Plzni, Plzeň 2005
- [14] Tůmová, O., Tomková, Z.: Návrhy experimentů při diagnostikování interaktivních dějů v elektrotechnice, výzkumná zpráva MSM 4977751310, Plzeň 2006
- [15] Tůmová, O.: Metrologie a hodnocení procesů, BEN Praha 2009
- [16] Blescharz, P.: Základy metody DOE, Repronis Ostrava 2005
- [17] ČSN ISO 3534-3:2019 Statistika – Slovník a značky – Část 3: Navrhování experimentů
- [18] ČSN 01 5110 Vzorkování materiálů. Základní ustanovení



Prof. Ing. Jindřich Vítovec, DrSc., 30. 9. 1928 – 29. 4. 2026



Životem Jindřicha Vítovce se prolíná neustálá touha po vědě a hlubším poznání.

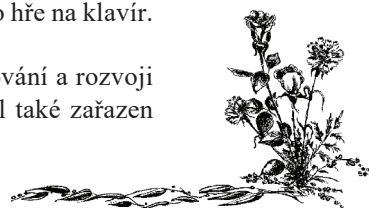
Narodil se v Soběšicích u Sušice, kde žil s matkou a strýcem po rozvodu rodičů a prožil zde celé své dětství. Do školy začal chodit v Sušici a po jejím ukončení se začal učit automechanikem v Klatovech. Po skončení 2. světové války se k rodině vrátil otec, který byl československým legionářem v Rusku. Rodina se přestěhovala do Šumperka, kde po odsunu Němců zůstalo mnoho volných domů. Zde absolvoval střední průmyslovou školu. V roce 1949 nastoupil na ČVUT v Praze, kde vystudoval obor metrologie na Fakultě strojní. Po absolutoriu na fakultě zůstal jako vyučující metrologie, pokračoval ve vzdělávání, stal se docentem a posléze profesorem. Svou pedagogickou dráhu ukončil až v 92 letech kvůli zrakové indispozici.

Profesor Vítovec se v roce 1990 spolupodílel na vzniku České metrologické společnosti (ČMS) a dlouhá léta byl členem jejího předsednictva. Přednášel a publikoval v odborných časopisech a věnoval se výchově několika generací metrologů. Byl rovněž zakladatelem certifikačního místa ČMS (certifikační orgán č. 3008), které dosud certifikuje odbornou způsobilost personálu v oblasti metrologie a zkušebnictví. Pozici vedoucího tohoto certifikačního orgánu opustil až ve svých úctyhodných 93 letech.

Kromě práce pro vědu se věnoval své rodině a koníčkům, zejména tenisu nebo hře na klavír.

Pan profesor patřil k významným osobnostem, které se podílely na prezentování a rozvoji metrologie. Za to mu patří vděčnost celé metrologické komunity. Po právu byl také zařazen mezi osobnosti Paměti národa.

Čest jeho památce !



BELGICKÝ UNIKÁT VE VLÁMSKÉM LIERU

Ing. František Hnízdil

Česká metrologická společnost, z. s. Praha

Snad nejznámější metrologickou památkou Prahy je Staroměstský orloj. Ten má ale velkého konkurenta v belgickém městě Lier, asi deset kilometrů jihovýchodně od Antverp ve Vlámském společenství. Touto sice mladší, nicméně stejně okázalou a u nás ne tak známou památkou je **Zimmerova věž** (Zimmer Tower)



Obr. 1: Pamětní busta Louise Zimmera

s hodinami uprostřed nejrozličnějších časoměrných a astronomických přístrojů. Hodiny ukazující aktuální místní čas jsou zvány **Jubilejní**, protože byly instalovány při příležitosti stého výročí založení Belgického království, které připadl 29. června 1930. Věž a poblíž stojící muzeum soustřeďují hodinářské poklady, které se vážou k osobě Louise Zimmera.

Na severozápadní stěně Zimmerovy věže jsou v kruhu uspořádány přístroje okolo centrálních hodin. Ty obklopuje dvanáct ciferníků a přístrojů, seznamujících návštěvníky v daném okamžiku s fázemi měsíce, oficiálním časem v Belgii, světovým časem, zvěrokruhem, slunečním cyklem, týdnem, rotací zeměkoule, měsíci, ročními obdobími a přílivem a odlivem. Hodiny mají celkem 57 ciferníků, z nichž některé jsou umístěny mimo věž.

Věž se původně jmenovala Corneliova. Jméno Zimmerova dostala po Louisi Zimmerovi, hodináři a amatérském astronomovi belgického krále na památku sestavení tohoto orloje v průčelí věže. Původně totiž sloužila už od 15. století jako součást městského opevnění města Lieru.

Louis Zimmer se narodil v roce 1888 jako syn hodináře. Na střední škole vynikal zvláště v matematice a astronomii. Během první světové války studoval astronomii a geologii. Pro krále Alberta I. vyrobil takzvané „**Zázračné kyvadlo**“, které panovníkovi daroval. V kostele svatého Gummara v Lieru vylepšil zvonkohru. Dále navrhl a zpracoval automatické ovládání osvětlení kostelní věže tohoto svatostánku.

V roce 1928 nabídl svému rodnému městu speciální hodiny, které by ukazovaly nejen standardní čas, ale i desetinný čas, fáze měsíce, den v týdnu, rotaci zemské osy a řadu dalších údajů. Městská rada v Lieru se rozhodla pro tyto speciální časoměry znovu využít středověkou Corneliovu věž, která byla v té době zakoupena a určena k demolici. Stavba tak zůstala zachována, byla zrekonstruována a následně v ní byly u příležitosti 100. výročí založení Belgického království odhaleny tzv. „**Jubilejní hodiny**“ (Jubelklok) a přejmenována na Zimmerovu věž.

Zimmer následně pracoval na svém Astronomickém atelieru, který byl dokončen v roce 1932 a je umístěn v prvním patře věže. Atelier je poháněn stejným hlavním strojem jako Jubilejní hodiny.

Pro světovou výstavu v Bruselu v roce 1935 postavil Louis Zimmer ještě propracovanější verzi svých hodin. Tento ukazatel času se nazývá „**Zázračné hodiny**“ (Wonderklok). Zimmer je následně přivezl zpět do Lieru poté, co byly v Bruselu úmyslně poškozeny. V roce 1938 byly hodiny poslány na výstavu do Spojených států. Za druhé světové války se ztratily, ale v roce 1953 byly nalezeny a do Lieru se vrátily koncem roku 1954. V roce 1960 byly hodiny instalovány v pavilonu vedle Zimmerovy věže. Jak vidno, i hodiny mohou mít dobrodružný život.

Louis Zimmer zemřel 12. prosince 1970 ve věku 82 let ve svém rodišti na řece Nete. 13. června 1970 byl jmenován čestným občanem města Lier u příležitosti 40. výročí slavnostního otevření Zimmerovy věže. Od roku 2022 je jedním ze čtyř čestných občanů Lieru. Spolu s dalšími třemi známými obyvateli města – Isidorem Opsomerem, Felixem Timmermansem a Lodewijkem Van Boeckelem – tvoří čtyřlístek slavných rodáků.

Zajímavostí je, že na památku Louise Zimmera byl pojmenován asteroid. Asteroid 3064 Zimmer (1984 BB) byl objeven 28. ledna 1984 na americké observatoři Anderson Mesa. Jméno asteroidu navrhl belgický amatérský astronom Edwin Goffin.

Věnujme se nyní lierské věži a Jubilejním hodinám.

Původní věž byla postavena pravděpodobně kolem roku 1425, přesné datum není známo. V roce 1812 ji město prodalo, ale po první světové válce ji znovu odkoupilo, ale jen proto, aby naplánovalo její demolici. Naštěstí v roce 1930 daroval Louis Zimmer městu svoje Jubilejní hodiny, které byly instalovány právě do staré věže, samozřejmě podstatně zrenovované. Vlastní stavba je od roku 1980 památkově chráněná. Nad vchodem do věže je umístěna plastika svatého Gummara, který je oficiálním patronem města Lieru.

V roce 1960 byl vedle věže postaven pavilon pro nové hodiny, Zimmerovo druhé mistrovské dílo – Zázračné hodiny (Wonderklok). Kolem jednoho z ciferníků se pohybuje nejpomalejší ručička na světě – její kompletní oběh trvá 25 800 let, což odpovídá době precese zemské osy. Následně Zimmer k hodinám připojil mechanické planetárium. Zázračné hodiny ohromily Alberta Einsteina, který Zimmerovi k vytvoření těchto neobvyklých mechanismů blahopřál.

Stojí za to si popsat funkce jednotlivých ciferníků hodin, tedy alespoň těch umístěných na stěně věže.

Velký ciferník uprostřed má průměr 1,5 metru (4 stopy 11 palců). Tento ciferník ukazuje přesný čas (UTC+1; během letního času se místo něj používá UTC+2). Ostatních dvanácti ciferníků, umístěných po obvodu hodin, si budeme všimnout ve směru pohybu hodinových ručiček.

1. Rovnice času. Tento ciferník ukazuje rozdíl v minutách mezi zdánlivým slunečním časem a středním slunečním časem. Kladné hodnoty naznačují, že zdánlivý sluneční čas je před středním slunečním časem



Obr. 2: Ciferníky orloje umístěné na zdi věže

(rychlý), s maximy kolem 3. listopadu a 15. května. Záporné hodnoty naznačují, že zdánlivý sluneční čas se pohybuje za středním slunečním časem (pomalý), s maximálním zpožděním kolem 12. února a 27. července. Rozdíl je nulový čtyřikrát ročně; kolem 16. dubna, 15. června, 1. září a 25. prosince.

2. Zvěrokruh. Tento ciferník zobrazuje znamení zvěrokruhu a jedna jeho otáčka trvá rok. Slunce každý rok opíše pomyslný kruh kolem Země, nazývaný zvěrokruh. Ten je rozdělen do dvanácti segmentů, z nichž každý je označen znamením spojeným s určitým souhvězdím. Znamení jara: Beran, Býk a Blíženci. Znamení léta: Rak, Lev a Panna. Znamení podzimu: Váhy, Štír a Střelec. Znamení zimy: Kozeoroh, Vodnář a Ryby.

3. Solární cyklus a dominické písmeno. Sluneční cyklus trvá 28 let. Po 28 letech se data znovu objevují ve stejném pořadí. Na vnitřním kruhu ručička ukazuje aktuální rok solárního cyklu. Na vnějším kruhu ručička ukazuje odpovídající dominické písmeno. Dominické písmeno udává den, na který připadá první neděle v roce. Písmeno A znamená, že první neděle v roce připadne na 1. ledna, písmeno B znamená, že první neděle bude 2. ledna atd. Přestupné roky mají dvě dominická písmena, protože se mění na konci února. První písmeno zahrnuje leden a únor, druhé zahrnuje březen až prosinec. U přestupných let vnější kruh zobrazuje dvě dominická písmena. Cyklus dominických písmen pro běžné roky je dvakrát za 11 let a jednou za 6 let, zatímco u přestupných let je to jednou za 28 let. Rok 2008 (přestupný rok začínající v úterý) je prvním rokem cyklu, zatímco rok 2007 (běžný rok začínající v pondělí) je dvacátým osmým rokem cyklu. Od roku 2008 do roku 2035 je průběh solárního cyklu následující:

- Rok 2008 byl přestupný rok začínající v úterý, tato římská písmena byla tedy FE, což byl první rok cyklu.
- Rok 2009 byl běžný rok začínající ve čtvrtek, toto římské písmeno bylo tedy D, což byl druhý rok cyklu.
- Rok 2010 byl běžný rok začínající v pátek, toto římské písmeno bylo tedy C, což byl třetí rok cyklu.
- Rok 2011 byl běžný rok začínající v sobotu, toto římské písmeno bylo tedy B, což byl čtvrtý rok cyklu.
- Rok 2012 byl přestupný rok začínající v neděli, tato římská písmena byla tedy AG, což byl pátý rok cyklu.
- Rok 2013 byl běžný rok začínající v úterý, toto římské písmeno bylo tedy F, což byl šestý rok cyklu.

- Rok 2014 byl běžný rok začínající ve středu, tedy toto dominické písmeno bylo E, což byl 7. rok cyklu.
- Rok 2015 byl běžný rok začínající ve čtvrtek, tedy toto dominické písmeno bylo D, což byl 8. rok cyklu.
- Rok 2016 byl přestupný rok začínající v pátek, tedy toto dominické písmeno bylo CB, což byl 9. rok cyklu.
- Rok 2017 byl běžný rok začínající v neděli, tedy toto dominické písmeno bylo A, což byl 10. rok cyklu.
- Rok 2018 byl běžný rok začínající v pondělí, tedy toto dominické písmeno bylo G, což byl 11. rok cyklu.
- Rok 2019 byl běžný rok začínající v úterý, tedy toto dominické písmeno bylo F, což byl 12. rok cyklu.
- Rok 2020 byl přestupný rok začínající ve středu, tedy toto dominické písmeno bylo ED, což byl 13. rok cyklu.
- Rok 2021 byl běžný rok začínající v pátek, tedy toto dominické písmeno bylo C, což byl 14. rok cyklu.
- Rok 2022 byl běžný rok začínající v sobotu, tedy toto dominické písmeno bylo B, což byl 15. rok cyklu.
- Rok 2023 byl běžný rok začínající v neděli, tedy toto dominické písmeno bylo A, což byl 16. rok cyklu.
- Rok 2024 byl přestupný rok začínající v pondělí, tedy toto dominické písmeno bylo GF, což byl 17. rok cyklu.
- Rok 2025 byl běžný rok začínající ve středu, tedy toto dominické písmeno bylo E, což byl 18. rok cyklu.
- Rok 2026 je běžný rok začínající ve čtvrtek, tedy toto dominické písmeno je D, což je 19. rok cyklu.
- Rok 2027 bude běžný rok začínající v pátek, toto dominické písmeno bude C, bude to 20. rok cyklu.
- Rok 2028 bude přestupný rok začínající v sobotu, toto dominické písmeno bude BA, bude to 21. rok cyklu.
- Rok 2029 bude běžný rok začínající v pondělí, toto dominické písmeno bude G, bude to 22. rok cyklu.
- Rok 2030 bude běžný rok začínající v úterý, toto dominické písmeno bude F, bude to 23. rok cyklu.
- Rok 2031 bude běžný rok začínající ve středu, toto dominické písmeno bude E, bude to 24. rok cyklu.
- Rok 2032 bude přestupný rok začínající ve čtvrtek, toto dominické písmeno bude DC, bude to 25. rok cyklu.
- Rok 2033 bude běžný rok začínající v sobotu, jehož přestupné písmeno bude B, bude to 26. rok cyklu.
- Rok 2034 bude běžný rok začínající v neděli, jehož přestupné písmeno bude A, bude to 27. rok cyklu.
- Rok 2035 bude běžný rok začínající v pondělí, jehož přestupné písmeno bude G, bude to 28. rok a poslední rok cyklu.

Zápis bude muset být v roce 2100 změněn, protože tento rok nebude přestupný.

4. Týden. Tento ciferník označuje sedm dní v týdnu, reprezentovaných starověkými bohy a jejich symboly.

Neděle	Apollón	Slunce
Pondělí	Diana	Měsíc
Úterý	Mars	kopí
Středa	Merkur	zlatá hůl
Čtvrtek	Jupiter	záblesk blesku
Pátek	Venuše	zrcadlo
Sobota	Saturn	srp a kosa

5. Zeměkoule. Zeměkoule se otočí kolem své osy jednou za 24 hodin. Rotace Země způsobuje střídání dne a noci. Na té části zeměkoule, která je na ciferníku aktuálně viditelná, je den. Místa na Zemi, která procházejí pod pevným poledníkem (zlatý pás vedoucí od severního pólu k jižnímu), mají poledne ve stejnou dobu.

6. Měsíce. Tento ciferník zobrazuje dvanáct měsíců. Ručička ukazuje aktuální měsíc. Jedna otáčka tohoto ciferníku trvá rok. Každý měsíc má také lidskou postavu znázorňující tradiční úkoly nebo činnosti daného měsíce.

Číslo	Měsíc	Alternativní název	Počet dnů
1.	leden	Měsíc ledů	31
2.	únor	Měsíc kachen	28 (29 dní v přestupných letech)
3.	březen	Měsíc ryb	31
4.	duben	Měsíc harlekýnů	30
5.	květen	Měsíc květin	31
6.	červen	Měsíc střihání	30
7.	červenec	Měsíc sena	31
8.	srpen	Měsíc sklizně	31
9.	září	Měsíc ovoce	30
10.	říjen	Měsíc vína	31
11.	listopad	Měsíc porážky	30
12.	prosinec	Měsíc odpočinku	31

7. Kalendářní data. Tento ciferník ukazuje přesné datum a jedna jeho otáčka trvá jeden měsíc. Číslování je od 1 do 31, což je maximální počet dní v měsíci. V měsících s menším počtem dní (28, 29 nebo 30) se ručička automaticky přesune na první den následujícího měsíce. Měsíce s 31 dny jsou leden, březen, květen, červenec, srpen, říjen a prosinec, měsíce s 30 dny jsou duben, červen, září a listopad. Únor je jediný měsíc s méně než 30 dny (má pouze 28 dní, 29 dní v přestupných letech).

8. Roční období. Ciferník zobrazuje čtyři kresby Felixe Timmermanse, které představují čtyři roční období. Ručička se za rok otočí o jednu otáčku a ukazuje aktuální roční období. Jaro je znázorněno dítětem s květinami (vlevo nahoře). Délka ročního období je označena arabskými číslicemi pro dny a římskými číslicemi pro hodiny. Jaro trvá 92 dní a 11 hodin. Léto je vyobrazeno jako žnečka a trvá 93 dní a 8 hodin. Podzim je symbolizován rohem hojnosti a trvá 89 dní a 10 hodin. Zima je znázorněna starou ženou čtoucí u krbu. Zima trvá přesně 90 dní. Na dělicích čarách mezi kresbami, které představují zářijovou a březnovou rovnodennost, je malý glóbus označující tu část zeměkoule, která je na začátku ročního období osvětlena Sluncem. Rozdíly v osvětlení během roku jsou způsobeny sklonem zemské osy. Červnový slunovrat (letní) je nahoře, prosincový slunovrat (zimní) dole a rovnodennosti jsou vpravo a vlevo.

9. Příliv a odliv. Číselník ukazuje příliv v Lieru v Belgii. Největší loď a vlajka bez stuhly označují vysokou hladinu vody. Když je stuha nad vlajkou, jedná se o příliv. Když je stuha pod vlajkou, ukazuje, že je odliv. V Lieru voda stoupá po dobu 3 hodin a 53 minut a v ostatních hodinách klesá. Tento ciferník dokončí celý kruh každých 12 hodin a 25 minut (polovina lunárního dne s přílivem a odlivem).

10. Animace Měsíce (stáří Měsíce). Tento ciferník znázorňuje Měsíc, jak prochází svými fázemi. Zdánlivé kolísání Měsíce je známé jako librace.

11. Úplňky. Doba mezi dvěma úplňky je přibližně 29 dní, 12 hodin a 44 minut. To je doba, kterou Měsíc potřebuje k jednomu oběhu kolem Země a opětovnému srovnání se Sluncem. Číselník ukazuje, kolik dní uplynulo od posledního novoluní, označuje den v měsíčním cyklu a na vnitřním obvodu zobrazuje fáze novoluní (holandsky: Nieuwe Maan, N.M.), první čtvrtiny (Eerste Kwartier, E.K.), úplňku (Volle Maan, V.M.) a poslední čtvrtiny (Laatste Kwartier, L.K.). Tento glóbus, zbarvený napůl zlatě a napůl modře se zlatými hvězdami, zobrazuje fáze Měsíce. Zlatá část představuje viditelnou část Měsíce.

12. Metónův cyklus a epakta. Ručička na tomto ciferníku se otočí jednou za 19 let. Po uplynutí této doby se různé fáze Měsíce opět objeví ve stejných termínech v roce. Řecký astronom Metón tuto zákonitost objevil v roce 432 př. n. l. Na vnějším prstenci ručička ukazuje na zlaté číslo neboli číslo aktuálního roku v Metónově cyklu. Vnitřní prstenec ukazuje epaktu, což je stáří Měsíce k prvnímu lednu aktuálního roku.

Prošli jsme jen to, co můžeme vidět při pohledu na Zimmerovu věž zvenčí. Na podrobné zkoumání všech 57 ciferníků, které hodinový stroj Zimmerova orloje ovládá, zde není už prostor.

Stejně jako lierský orloj, i ostatní podobné světové časostroje jsou prezentací umění a také geniality jejich tvůrců, kteří nám ukazují, co všechno lze mechanicky znázornit. Pokud navštívíte město Lier na soutoku Velké a Malé Nety, které vzniklo sloučením bývalých obcí Lierre a Koningshooikt, určitě si tuto pamětihodnost nenechte ujít. Budete-li mít čas, ponořte se do jejího průzkumu.



Obr. 3: Zimmerova věž v Lieru

TROCHA HISTORIE NIKOHO NEZABIJE: STIA, THERMON A CALOM

Ing. Petr Holyszewski

ENBRA

V dnešní uspěchané době nejsme často schopni ocenit práci našich předchůdců, kteří s mnohem skromnějšími a primitivními prostředky dokázali relativně efektivně vyřešit to, co my dnes řešíme s možnostmi zcela nesrovnatelnými.

Moderní elektronické měřicí a registrační přístroje představují širokou škálu mnoha typů s rozličným způsobem zobrazení naměřených hodnot. Dnešní možnosti zobrazení měřené veličiny by nám naši předkové jistě záviděli, protože jejich technologické možnosti byly velmi omezené.

Na začátku minulého století nebyl ani tak problém se zobrazením okamžitých hodnot, neboť k tomu bylo možno využít zobrazovačů pracujících na principu galvanometru. Problémem bylo zejména zobrazení kumulovaných veličin. Kumulované veličiny v každodenní praxi často potřebujeme zobrazovat při registraci spotřeby energií a médií.

Zatímco mechanické veličiny, například počet otočení lopatkového kola ve vodoměru úměrný protečenému množství vody, se daly zobrazovat poměrně jednoduše s využitím mechanických principů, registrace kumulovaných elektrických veličin činila větší problém, který se řešil s využitím principů dnes již nepoužívaných, a proto zapomenutých. Na počátku 20. století se začal používat u elektroměrů pro stejnosměrný proud systém rtuťového elektrolytického počítadla, které mělo jednu rtuťovou a jednu platinovou elektrodu. Jako elektrolyt sloužil dusičnan rtuťnatý $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Tato měřidla představovala vylepšení Edisonových elektrolytických měřidel poté, co vypršela jejich patentová ochrana. Rtuť uvolňovaná na katodě při průchodu proudu kapala do úzké měřicí kapiláry, opatřené stupnicí nejprve v Ah a později v Wh. Tímto způsobem objem rtuť uvolňované při elektrolyze nahradil složité vážení, které se vyskytovalo u předchozích elektrolytických měřičů.

Úplné naplnění měřicí kapiláry rtuť odpovídalo dosažení měřicího rozsahu měřidla. Jeho převrácením „vzhůru nohama“ bylo možné vynulovat jeho ukazatel, když rtuť nahromaděná v měřicí trubici protékla v celém množství zpět trubici v membráně do anodové komory.

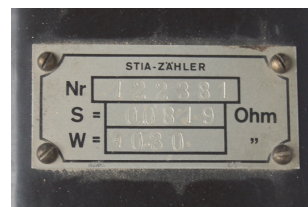


Obr. 1: Elektroměr STIA

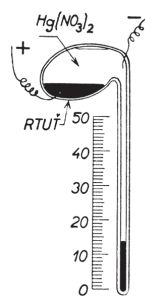
Typickým představitelem těchto elektroměrů používaných na našem území byly elektroměry STIA vyráběné společností Schott & Genossen z Jeny. Elektroměry se používaly jako podružné měřidlo v stejnosměrných elektrických soustavách. Jejich stupnice byla kalibrována v kWh. Rtuťové počítadlo elektroměru bylo připojeno k bočníku, počítadlem proto procházela pouze část proudu registrovaného elektroměrem.



Obr. 2: Štítky elektroměru STIA



Obr. 3: Nulování elektroměru překlopením kapiláry



Obr. 4: Princip rtuťového počítadla (bylo připojeno k bočníku)

Velké množství rtuťových elektroměrů vyrobila také společnost Reason a společnost F. Lux z Ludwigshafenu. Jejich výhodou bylo, že měly dvě měřicí trubice (dva rozsahy); po naplnění první z nich, s rozsahem od 0 do 100 kWh rtuť samovolně stékala do druhé trubice s rozsahem do 1000 kWh. Díky tomu bylo možné provádět mazání údajů méně často – jednou až dvakrát ročně.

Zajímavostí je použití tohoto typu elektroměrů ve stejnosměrných soustavách, protože tzv. válka proudů (spor o dominanci stejnosměrného proudu podporovaného Edisonem a střídavého proudu prosazovaného Westinghousem) proběhla v Americe již koncem 19. století. V Evropě se udržel stejnosměrný proud i na začátku 20. století. Stejnosměrným proudem bylo elektrifikováno v roce 1882 i první divadlo v Evropě, kterým bylo brněnské Německé městské divadlo, nyní Mahenovo.

Elektroměry s rtuťovým počítadlem neměřily napětí v síti. Jednalo se de facto o měřidlo, které integrovalo hodnotu protékajícího proudu v čase, tedy měřidlo Ah.



Obr. 5: Detail rtuťového počítadla

V roce 1916 byla v Dánsku podána patentová přihláška Ing. Viggo Stephana Kellnera Petersena s názvem „Zařízení ku měření tepla, dodávaného otopnými nebo ohřívacími zařízeními“. V roce 1925 byl stejný patent udělen i v Československu.

PATENTNÍ ÚŘAD
REPUBLIKY ČESKOSLOVENSKÉ

Trída 36 c.

Vydáno 10. června 1925.

PATENTOVÝ SPIS č. 16001.

Ing. VIGGO STEPHAN KELLNER PETERSEN, GENTOFTE, Dánsko.

Zařízení ku měření množství tepla, dodávaného otopnými nebo ohřívacími zařízeními (radiatory, ohříváky vody, přívody horkého vzduchu).

Přihlášeno 11. srpna 1919.

Priorita z 15. února 1916 (Dánsko).

Chráněno od 15. prosince 1924 v Čechách, na Moravě a ve Slezsku.

Vynález se vztahuje na způsob a zařízení k měření tepelných množství, zvláště oněch množství tepla, jež jsou odnímány z různých otopných těles, po případě z míst výtokových horkého vzduchu nějakého vytápěcího zařízení, z kohoutů pro vřelou vodu, nebo páru, z podobných odběrných míst nějakého domácího nebo jiným účelům sloužícího ústředního zařízení teplo dodávajícího. Vynález má hlavně ten účel, aby bylo možno přesně stanovit spotřebu tepla různých odběratelů (nájemníků) a tím, aby bylo umožněno vyúčtovat skutečně na ně příslušající částku, místo odhadování domněle průměrné

Obr. 6: Patentový spis č. 16001

Principem tohoto zařízení bylo umístění termočlánků na otopné těleso. Teplý konec termočlánku byl umístěn na radiátoru a studený konec termočlánku v krabici na zdi. Termočlánků bylo několik a jejich počet odpovídal výkonu radiátoru. Termočlánky z více radiátorů v bytě byly spojeny do série a vyvedeny do rozvodnice na chodbu před bytem.



Obr. 7: Měřidlo tepla THERMON



Obr. 8: THERMON bez horního krytu

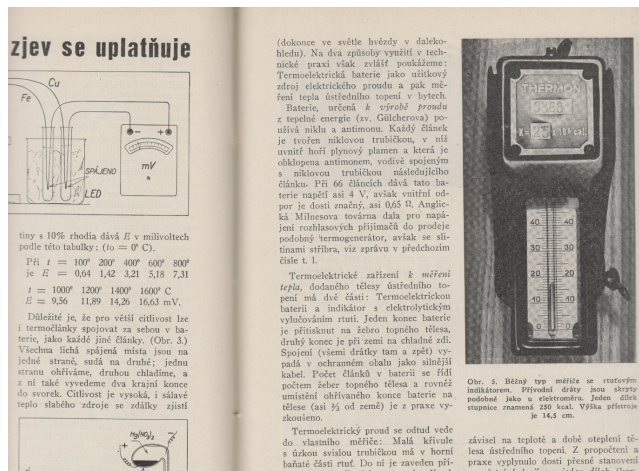
Elektrický proud dodávaný termočlánky byl přibližně úměrný okamžitému výkonu otopných těles v bytě. Spojením termočlánků a rtuťového počítadla vzniklo měřidlo tepla THERMON.

Tento typ měřidla byl prokazatelně instalován v Brně na ulici Merhautova v roce 1936, dále na ulici Staňkova a v Praze v domech v okolí pražského Veletržního paláce, vytápěných Holešovickou elektrárnou. Nutno podotknout, že v dnešním pojetí není THERMON měřidlem tepla, ale



indikátorem pro rozdělování nákladů na vytápění místností otopnými tělesy a počet termočlánků na radiátoru přibližně odpovídá koeficientům K_q a K_c podle normy ČSN EN 834.

Obr. 9: Počet termočlánků ve snímači na radiátoru odpovídá jeho výkonu



Obr. 10: Dobový článek z roku 1939 o indikátoru THERMON



Obr. 11: Nulování indikátoru překlopením kapiláry



Obr. 12: Nemí překvapivé, že elektroměr STIA a měřidlo tepla THERMON jsou vzhledově téměř identické



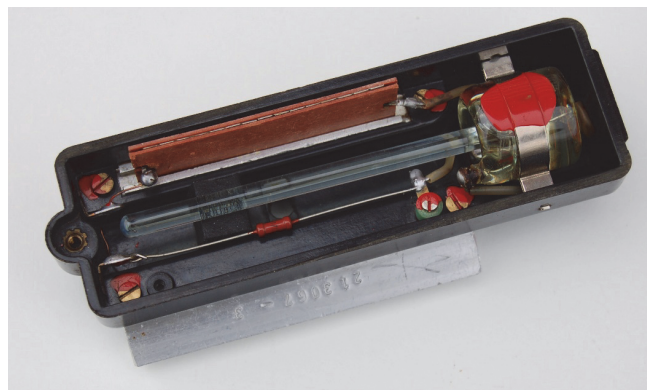
Obr. 13: Stupnice indikátoru cejkovaná v násobcích 10^5 kalorií

Z indikátorů THERMON konstrukčně vycházely indikátory CALOM, vyvinuté v 60. letech minulého století v pražském Výzkumném ústavu energetickém a vyráběné v ZTO Ostrava. CALOMy pracovaly na stejném principu, avšak svou koncepcí se více blížily dnešnímu kompaktnímu pojetí indikátoru. Byly montovány na každé otopné



Obr. 14: CALOM s uzavřeným krytem

těleso, čímž odpadla nutnost instalace propojovacího vedení, ale současně také výhoda centrálního odečtu a při odečtu bylo nutno vstupovat do bytu a odečítat údaj z každého radiátoru zvlášť. Několik sériově zapojených termočlánků zalitých v měřicí vložce bylo umístěno v indikátoru tak, že jejich „teplé konce“ snímaly teplotu otopného tělesa z hliníkového tepelného převaděče a „studené konce“ teplotu místnosti na víku indikátoru.



Obr. 15: Pohled na počítadlo, sérii termočlánků a justovací odpor

Zdroje:

- [1] Archiv a sbírka autora a sbírka ČMI
- [2] Časopis Radioamatér, nakladatelství Orbis Praha, číslo 7/1939, strana 142-143
- [3] J. Cikhart: Měření tepla, indikace a rozdělování úhrady za vytápění a ohřev TUV, Praha 2003
- [4] F. Adunka: Wärmemengenmessung, Essen 1984
- [5] Úřad průmyslového vlastnictví: Databáze patentů a užitných vzorů
- [6] A. Przytulski: Od Edisona do Krukowskiego – krótka historia liczników elektrolitycznych (www.elektroonline.pl)
- [7] <https://www.mit.krakow.pl/en/zbior/mim-1915-iv-126-3/>
- [8] https://www.mit.krakow.pl/wp-content/uploads/2022/11/b9ae0c884d6c7115d097f5b998b906d0_stia-electrochemical-mercury-based-meter-for-direct-current-ampere-hours.pdf
- [9] <https://www.vde.com/de/geschichte/karte/thueringen/stia-zaeHLer>
- [10] <https://www.vde-leipzig-halle.de/de/facharbeit-regional/ets/objekt-des-monats/stia-zaeHLer>
- [11] <https://de.wikipedia.org/wiki/Edisonz%C3%A4hler>
- [12] https://delibra.bg.polsl.pl/Content/25703/BCPS_29269_1908_Elektrolytische-Zahl.pdf
- [13] https://ia600805.us.archive.org/view_archive.php?archive=/13/items/crossref-pre-1909-scholarly-works/10.1002%252Fbbpc.19040103902.zip&file=10.1002%252Fbbpc.19050111003.pdf
- [14] <http://physik.uibk.ac.at/museum/de/details/electrstromz.html>

Fotografie: autor článku

PŘIPRAVOVANÉ AKCE ČMS DO KONCE ROKU 2026



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

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



Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
11. 6. 2026 IMECO TH s.r.o. 664 42 Modřice	K 645-26	Měření textury povrchu
19.10.2026 ČSVTS, Praha Novotného lávka 5 sál č. 318	K 646-26	Měření osvětlení
22. 10. 2026 ČSVTS, Praha Novotného lávka 5 sál č. 318	K 647-26	Měření elektrických veličin <i>s praktickými ukázkami kalibrace vybraných měřidel</i>

Datum a místo konání	Kód akce	Název akce
2. pololetí 2026 ČSVTS, Praha Novotného lávka 5 sál č. 318	K 648-26	Měření ochranných vrstev
14. 12. 2026 ČSVTS, Praha Novotného lávka 5 sál č. 319	Ko 649-26	26. fórum metrologů

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

Nabídka akcí bude průběžně aktualizována:
<https://www.spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>

Oznámení ČMS

Česká metrologická společnost, z.s. oznamuje změny ve vedení společnosti.

Ze zdravotních důvodů ukončila výkon funkce předsedkyně výboru ČMS paní RNDr. Věra Ježková. Současně ukončil své působení ve výboru ČMS po 20 letech také pan Ing. Václav Bursa.

Oběma odcházejícím členům výboru vyslovuje ČMS upřímné poděkování za jejich dlouholetou, obětavou a odbornou práci pro společnost, rozvoj metrologie a organizaci odborných aktivit ČMS. Jejich dlouholetá činnost významně přispěla ke stabilnímu fungování společnosti i k podpoře odborné metrologické veřejnosti.

Na jednání výboru ČMS dne 16. dubna 2026 byl novým **předsedou České metrologické společnosti, z.s.** zvolen **Ing. Richard Silovský**, dlouholetý člen výboru ČMS a odborný pracovník v oblasti průmyslové metrologie, kalibrací a systémů kvality.

Nové vedení ČMS chce navázat na dosavadní odbornou činnost společnosti a dále rozvíjet její roli jako otevřené odborné platformy zaměřené na sdílení zkušeností z praxe, odborné vzdělávání, spolupráci s odbornými institucemi a podporu metrologie v oblasti kalibrací, zkoušení i průmyslové praxe.

Výbor ČMS dále vzal na vědomí kooptaci Ing. Pavla Bartoníčka, Ph.D. za člena výboru ČMS v návaznosti na výkon funkce vedoucího Certifikačního místa č. 3008.

Doplnění členů výboru proběhne volbou na členské schůzi ČMS, která se uskuteční dne 3. června 2026 od 14:00 v sídle ČMS.

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně); Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně); Mgr. Petr Barták; Ing. Miroslav Čermák; Ing. Blanka Čemusová; Mgr. Václava Holušová; doc. Ing. Jiří Horský, CSc.; Ing. Jiří Kazda; Ing. Pavel Nosek; RNDr. Klára Popadičová; Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.; doc. Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.; Ing. Jakub Svatoš, Ph.D.; doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.; Ing. Josef Vojtíšek.

Přizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 12 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543. Elektronicky ke čtení a stažení na www.unmz.cz.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: květen 2026. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz. Nevýžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Foto na obálce:

Světový den metrologie

Photo on the front page:

World Metrology Day

