

Metrologická nadväznosť pri meraní elektrických veličín

Tomáš Čamaj a kolektív

Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita,
Bratislava, Slovenská republika



Úvod:

Metrologická nadväznosť (Obr. 1) zabezpečuje spoľahlivosť a medzinárodnú porovnateľnosť výsledkov meraní. V oblasti elektrických meraní sa realizuje prostredníctvom hierarchie etalónov [1], ktorá prepája primárne kvantové realizácie jednotiek so sekundárnymi a pracovnými etalónmi využívanými pri kalibrácii [2]. Príspevok sa zaoberá štruktúrou metrologickej nadväznosti v oblasti elektrických veličín so zameraním na prenos jednotiek, kalibračné väzby a vyhodnocovanie neistôt na jednotlivých úrovniach metrologického systému. Súčasťou je identifikácia dominantných zdrojov neistôt a analýza vplyvu prevádzkových a environmentálnych faktorov na stabilitu a reprodukovateľnosť výsledkov meraní.

Ďalej sa porovnávajú tradičné postupy realizácie jednotiek s modernými kvantovými realizáciami založenými na Josephsonovom a Hallovom efekte, ktoré umožňujú realizáciu jednotiek elektrického napätia a elektrického odporu s veľmi nízkou neistotou a vysokou dlhodobou stabilitou [2; 3]. Tieto prístupy prispievajú k znižovaniu systematických zložiek neistoty v metrologickom reťazci.

Z vykonanej analýzy vyplýva, že metrologická nadväznosť predstavuje základný predpoklad zachovania konzistencie elektrických meraní, pričom kvantové realizácie jednotiek významne zvyšujú presnosť, spoľahlivosť a medzinárodnú porovnateľnosť výsledkov v priemyselných aj vedeckých aplikáciách.

Praktický príklad prenosu jednotky napätia

Úroveň	Príklad	Rozšírená neistota ($k = 2$)
Primárny etalón (Josephson)	10 V	0,02 μ V
Národný etalón	10 V	0,10 μ V
Referenčný multifunkčný kalibrátor	10 V	2 μ V
Digitálny multimeter 8½ číslice	10 V	(8–15) μ V
Priemyselné meradlo	10 V	(50–500) μ V

Environmentálne podmienky

Faktor	Typický vplyv
teplota ± 1 °C	zmena odporu o niekoľko ppm
vlhkosť	zhoršenie izolačných odporov
elektromagnetické rušenie	šum merania
vibrácie	mechanická nestabilita kontaktov
čas od kalibrácie	drift meradla

Záver

- metrologická nadväznosť zabezpečuje jednotnosť elektrických meraní,
- neistota rastie s každým stupňom prenosu jednotky,
- dominantný vplyv majú referenčné etalóny, stabilita zariadení a podmienky prostredia,
- kvantové etalóny založené na Josephsonovom a Hallovom efekte poskytujú najvyššiu presnosť a stabilitu,
- predstavujú základ moderného systému elektrickej metrológie.

Dominantné zdroje neistoty

Zdroj neistoty	Podiel
Referenčný etalón	35 %
Stabilita meradla	25 %
Teplota	18 %
Opakovateľnosť	12 %
Obsluha	5 %
Ostatné	5 %

Výhody kvantových etalónov

- priama realizácia jednotiek SI
- medzinárodná porovnateľnosť
- veľmi nízka neistota
- vysoká dlhodobá stabilita
- odstránenie systematických odchýlok
- lepšia reprodukovateľnosť kalibrácií

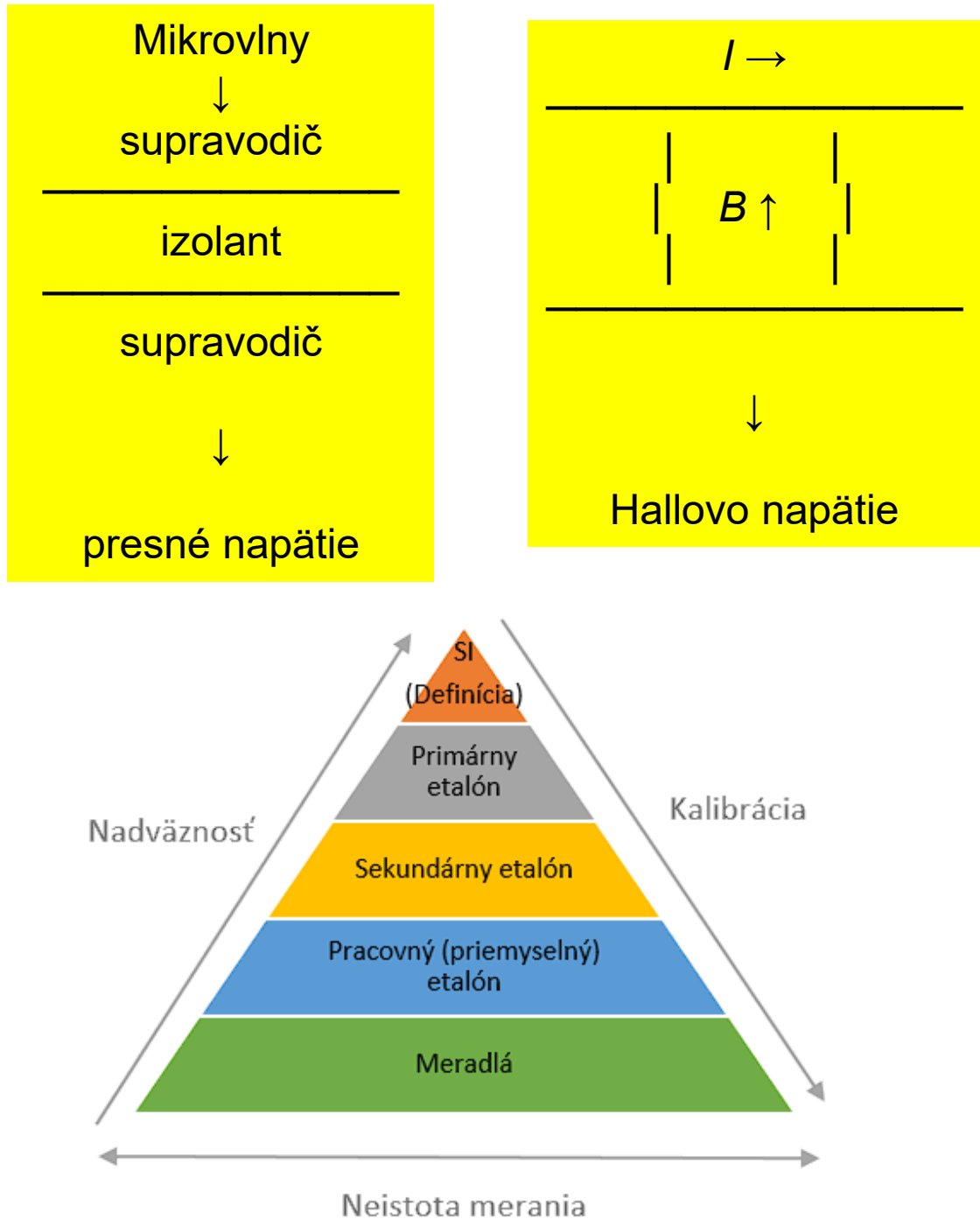
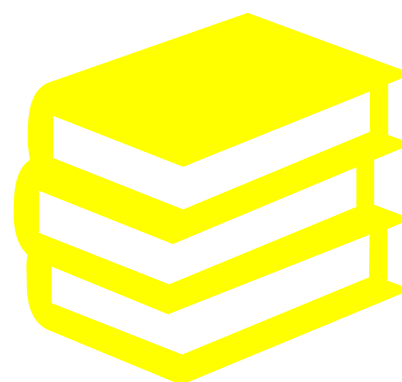


PodĎakovanie:

Príspevok vznikol s podporou projektu KEGA číslo 028STU-4/2026 „Implementácia moderných vzdelávacích metód založených na vedecko-technickom prístupe k metrologickému zabezpečeniu mestských dráh“ a projektu ČABELKA CAC-01-26 „Výskum a validácia etalónov pre účely zabezpečenia metrologickej nadväznosti prístrojov s meracou funkciou v zdravotníctve“. Autori tiež ďakujú Strojníckej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave za podporu pri spracovaní tohto príspevku.

Literatúra:

- [1] TESAR, J. Státní etalony České republiky. Praha: Český metrologický institut, 2013. ISBN 978-80-905619-1-5.
- [2] BOHÁČEK, J. Metrologie. 3. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2019. ISBN 978-80-01-06612-6.
- [3] SEDLÁK, B. a ŠTOLL, I. Elektřina a magnetismus. Vydání čtvrté, v Nakladatelství Karolinum třetí. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2024. ISBN 978-80-246-5810-0.



Obr. 1: Vzťah metrologickej nadväznosti a neistoty merania.

Tradičné vs. kvantové realizácie

Parameter	Tradičné etalóny	Kvantové etalóny
Stabilita	vysoká	veľmi vysoká
Dlhodobý drift	prítomný	zanedbateľný
Realizácia SI	nepriama	priama
Typická neistota	10^{-7} až 10^{-8}	10^{-10} až 10^{-11}