

# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 001/97 Národný etalón elektrického odporu

**Osoba zodpovedná  
za národný etalón:** Ing. Štefan Gašparík

**Správu vypracoval:** Ing. Štefan Gašparík

**Bratislava, december 2010**

## OBSAH

### SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE ELEKTRICKÉHO ODPORU

1	Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE elektrického odporu	3
2	Podrobný popis NE elektrického odporu a s ním spojených zariadení	6
3	Špecifikácia metrologických vlastností národného etalóna elektrického odporu a prehľad výsledkov výskumu a vývoja	11
4	Prehľad výsledkov medzinárodných porovnaní	20
5	Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE elektrického odporu.	23
6	Zoznam publikácií o NE elektrického odporu a s jeho vývojom a výskumom súvisiacich publikácií	23
7	Zoznam dokumentov súvisiacich s NE elektrického odporu	26
Príloha 1 Certifikát NE elektrického odporu (4 strany)		
Príloha 2 Pravidlá používania a uchovávanía NE elektrického odporu		

## Názov etalóna : Národný etalón elektrického odporu NE č.: 001/97

Forma a dátum vyhlásenia etalónu : Osvedčenie o národnom etalóne pod číslom 001/97 zo dňa 30.12.1997 vydané UNMS SR v Bratislave , certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom (certifikát č. 001/02, príloha 1) v súlade s ustanovením §6 a §32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov dňa 25.7.2002

**Osoba zodpovedná za národný etalón : Ing. Štefan Gašparík**

### 1 Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE elektrického odporu

V súlade s rozvojom vedy a techniky jednou z oblastí, ktorá vyžaduje primeranú pozornosť je meranie elektrického odporu. Po fyzikálnej stránke meranie elektrického odporu je určovanie jedného z parametrov elektrických obvodov, ktoré majú uplatnenie v širokom rozsahu techniky.

Medzinárodná sústava jednotiek - SI sústava – vychádza zo siedmich základných jednotiek, definovaných na základe najnovších vedeckých poznatkov. Pre oblasť elektrických veličín je medzi základnými jednotkami zaradený ampér. Ostatné elektrické jednotky používané v meracej technike sú odvodené z týchto základných jednotiek pomocou platných fyzikálnych zákonov. Jedinou výnimkou pri ich odvodzovaní je jednotka elektrického prúdu, ampér. V súčasnej metrologickej praxi sa jednotky elektrických veličín nezakladajú na nej, ako by sa dalo očakávať z definície základných jednotiek, ale sú odvodené od jednotky elektrického napätia - voltu, a elektrického odporu - ohmu. Táto skutočnosť je daná tým, že jednotky elektrického napätia a odporu sú v súčasnosti realizovateľné ďaleko presnejšie ako jednotka elektrického prúdu. Takáto ich realizácia je v súlade s odporúčaniami Comité consultatif d'électricité (CCE) číslo 1 a 2, ktoré vstúpili v platnosť 1.1.1990. Je to preto, lebo obe jednotky sa vďaka úspešnej aplikácii výsledkov vedeckého výskumu podarilo realizovať na báze kvantových javov. Oba javy, pre elektrické napätie Josephsonov, a pre elektrický odpor Hallov, sa pozorovali pri nízkoteplotných experimentoch, kedy teplota je pod teplotou tekutého hélia (4,2 K). Tieto javy sú aj teoreticky podložené a doterajšie práce plne potvrdzujú vysokú presnosť takto stelesnených jednotiek, ktoré sú odvodené od základných fyzikálnych konštánt: elementárneho elektrického náboja  $e$  a Plankovej konštanty  $h$  ako to vyplýva z rovníc pre Josephsonovo napätie  $U_J$  a Hallov odpor  $R_H$  [29].

Kvantové etalóny využívajúce Josephsonov a Hallov jav viedli k výraznému zlepšeniu tak jednotky elektrického napätia, ako aj elektrického odporu. Pritom ich veľkou výhodou bolo, že sa stali nezávislými od iných parametrov, najmä od geometrických rozmerov a taktiež od technológie prípravy aktívnych polovodičových prvkov, ktoré by mohli ovplyvniť ich metrologickú kvalitu. V prípade etalóna elektrického odporu na báze kvantového Hallovho odporu o objav sa zaslúžil von Klitzing v roku 1980, za čo dostal Nobelovu cenu. Charakteristickým rysom javu je vytvorenie stabilného plateau na závislosti Hallovho napätia od indukcie vonkajšieho magnetického poľa, pričom pomer Hallovho napätia a pretekajúceho prúdu zodpovedá veľmi presne ohmickej hodnote  $25\,812,807\ \Omega$ , ktorá môže byť podľa plateau podelená celým číslom, zodpovedajúcim príslušnému použitému plateau.

Zavedením uvedených etalónov napätia a odporu založených na využití základných fyzikálnych konštánt do metrologickej praxe sa okamžite výrazne zlepšila celosvetová zhoda

elektrických meraní. Medzi národnými metrologickými laboratóriami, ktoré zaviedli etalóny voltu a ohmu na kvantovej báze, sa dosiahla zhoda výsledkov meraní lepšia ako  $1 \times 10^{-8}$ , ktorá je ďalej systematicky kontrolovaná medzinárodnými porovnávacími meraniami. Koordinátorom týchto porovnaní je Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) v Sévres pri Paríži.

V SMÚ už niekoľko rokov prevádzkujeme komerčný primárny etalón napätia na kvantovej báze a zúčastnili sme sa s nim niekoľkých medzinárodných porovnávacích meraní. Dosiahnuté výsledky sú uvedené v správe o NE elektrického napätia. Čo sa týka kvantového etalóna elektrického odporu, aj v tejto oblasti sa v SMÚ intenzívne pracuje. V spolupráci s Elektrotechnickým ústavom SAV bol v roku 1998 ukončený vývoj kryomagnetickú časť etalóna a v Elektrotechnickom ústave SAV bola vyvinutá technológia prípravy vzoriek pre primárny etalón [7]. Zrealizovaný systém obsahuje kryostat na kvapalné hélium HK 300 pre supravodivý magnet, magnetický systém s magnetickou indukciou do 12 T, palcový kryostat s vákuovým zariadením na dosiahnutie teploty 1,5 K, záves vzorky kvantového Hallovoho odporu, vzorku a merače hladín hladín kvapalného hélia a teploty vzorky. Projekt v prvej etape počítal s aplikáciou potenciometrickej metódy, ktorá sa neskôr ukázala obmedzená na úroveň relatívnej neistoty niekoľkokrát  $10^{-7}$ , čo je hodnota dosiahnuteľná klasickými etalónmi odporu po ich nadviazaní na BIPM a uchovávatel'ná pomocou skupinového etalóna. Preto bol systém doplnený presnejším komerčne dostupným kryogénnym prúdovým komparátorom. S nim boli v priebehu roku 2002 zrealizované prvé úspešné experimentálne merania, pri ktorých sa podľa odhadu dosiahla relatívna neistota v ráde  $10^{-8}$ . V priebehu roka 2003 pri pokračovaní porovnávacích meraní došlo k vážnejšej poruche prúdového komparátora, a laboratórium zatiaľ nemá pridelené prostriedky na jeho opravu.

Jednotka  $\Omega$  a jej stupnica v globálnom hodnotení pokrývajú veľmi široký rozsah meraní pri DC od oblasti stotín až tisícín  $m\Omega$  (odpory na veľké prúdy) až do oblasti veľkých odporov do stovák  $T\Omega$  (rezistory na malé prúdy) a pri AC v základnom rozsahu od 0,1  $\Omega$  do 1  $M\Omega$  pri frekvenciách do 20 kHz s dôrazom na 50 Hz, ktoré má uplatnenie najmä v energetike, a na rozsah frekvencií od 100 do 800 Hz, ktoré majú uplatnenie predovšetkým v termometrii. Jednotka odporu a jej stupnica je základom pri prenose jednotky el. odporu a jej stupnice na etalónové rezistory, odporové dekády, odporové referencie, meradlá elektrického odporu (odporové mostíky, ohmmetre, multimetre), multikalibrátory a mnohé ďalšie meradlá. Meranie elektrického odporu, či už priamo alebo nepriamo, je využívané aj pri meraní ďalších fyzikálnych veličín. Z elektrických sú to najmä elektrické napätie a prúd a s ich meraním súvisiace ďalšie elektrické veličiny, ako napr. elektrický výkon a práca elektrického prúdu, ktoré využívajú rezistorové prevodníky (odporové deliče napätia, prúdové bočníky, odporové záťaže a ďalšie). Pri neelektrických veličinách sú často využívané metódy na ich nepriame meranie prostredníctvom metód na meranie odporu, alebo s využitím prevodníkov. Z mnohých možno uviesť aspoň najrozšírenejšie: v oblasti merania teploty odporové teploměry, merače tepla a odporové simulátory teploty, v oblasti tlaku odporové snímače na meranie tlaku, deformácií a ďalšie. Ďalej je to oblasť fyzikálnej chémie, oblasť ionizačného žiarenia, dĺžky, hmotnosti a niektoré ďalšie. Pritom ako referenčná sa využíva stupnica odporu, ktorá dnes pre meranie pri jednosmernom prúde pokrýva rozsah od mikrohmov až do petaohmov a pri striedavom elektrickom prúde hodnotový rozsah od miliohmov do desiatok megaohmov pri frekvenciách do 100 k $\Omega$  až do 1 MHz.

V SMÚ Bratislava sa metrológii elektrického odporu venuje náležitá pozornosť. Jej výsledkom je prístrojové vybavenie laboratória odporu blízke úrovni iných metrologicky vyspelých štátov. Jednou zo základných úloh SMÚ definovanou Štatútom SMÚ je výskum, vývoj, realizácia a medzinárodné porovnávanie primárnych etalónov a stupníc národohos-

podársky významných fyzikálnych veličín. Ako výsledok tejto činnosti je odovzdanie týchto stupníc do praxe - teda nadväzovanie etalónov nižších rádov na etalóny SMÚ.

Národný etalón elektrického odporu plní svoju funkciu od roku 1997, nadväzujúc na činnosť československého štátneho etalóna elektrického odporu vyhláseného roku 1981 (správa č. 3034, Československý štátny etalón elektrického odporu, Bratislava 1980). Etalón pokrýva rozsah pre meranie jednosmerným elektrickým prúdom od 0,1 mΩ do 100 TΩ a pre merania striedavým elektrickým prúdom od 1 Ω do 100 kΩ pri frekvenciách do 1600 Hz.

Pri celkovom hodnotení využívania národného etalóna elektrického odporu SMÚ pri prenose hodnôt na referenčné etalóny odporu nižších úrovní možno uviesť, že SMÚ každoročne zabezpečuje nadväznosť:

- okolo 80 až 100 etalónov odporu,
- 12 až 15 presných rezistorových dekád, ktoré sú využívané predovšetkým v oblasti odporovej termometrie,
- 2 až 4 odporových mostíkov,
- 10 až 15 číslcových meradiel odporu (včítane kalibrácie odporových rozsahov multimetrov),
- 8 až 12 odporových rozsahov multikalibrátorov a
- minimálne 10 špeciálnych meradiel či už z oblasti odporovej termometrie, oblasti žiarenia, fyzikálnej chémie atď. (imitátory odporových hodnôt platinových teplo-merov, špeciálne meradlá pre oblasť malých prúdov, špeciálne meradlá veľkých prúdov, mikroohmmetre pre energetiku a ďalšie).

Ročný príjem za realizované metrologické služby v nadväznosti na národný etalón el. odporu, ktorý je odvádzaný do štátneho rozpočtu, predstavuje v období posledných dvoch rokov cca 16 až 22 tis. Eur/ročne.

Mimo toho hodnoty základného etalóna a stupnice elektrického odporu uchovávané v rámci národného etalóna odporu, tak pri DC ako aj pri AC, slúžia zabezpečeniu niektorých ďalších fyzikálnych veličín v SMÚ. V tom je zahrnutý predovšetkým prenos na meradlá využívané v oblasti elektrických veličín: elektrického prúdu, výkonu a práce elektrického prúdu, na meradlá laboratórií zaoberajúcich sa odporovou termometriou, tak pre laboratórium teploty, ako aj iné laboratória (dĺžka, tlak a ďalšie), na meradlá zabezpečujúce meranie malých prúdov (kalibrácia vysokoohmových deličov) napr. pre oblasť ionizačného žiarenia, ako aj vodivosti, tak pre fyzikálnu chémiu, ako aj iné laboratória. Odhadujeme, že na zabezpečenie stupnice elektrického odporu v iných laboratóriách SMÚ, pokiaľ by nebol NE elektrického odporu, by bolo potrebné ročne vynaložiť minimálne 3 až 7 tis. Eur.

Ak mimo toho zvážime, že referenčné a pracovné etalóny elektrického odporu, na ktoré sú prenesené hodnoty z národného etalóna, sú ďalej používané pri prenose hodnôt elektrického odporu do priemyselnej sféry v nižších úrovniach presnosti, je jasná potreba zabezpečenia tejto veličiny na úrovni národného etalóna. Príjmy v laboratóriách, ktoré zabezpečujú kalibrácie meradiel elektrického odporu nižších rádov sú v tejto oblasti meraní minimálne desaťnásobne vyššie ako príjmy SMÚ za kalibrácie odporu. Naviac, pritom si treba ešte uvedomiť, že tak v SMÚ ako aj metrologických laboratóriách v SR sú ceny za kalibráciu meradiel ešte stále nižšie ako v mnohých iných analogických metrologických inštitúciách v zahraničí, pričom odlišnosť neistôt merania je obvykle zanedbateľná.

Tým je jasne dokumentovaná potreba uchovať etalón elektrického odporu SMÚ vo funkcii národného etalóna a naviac intenzívne pracovať na inovácii niektorých jeho etalónových zariadení, a to najmä:

- v oblasti malých a stredných odporov do 1 k $\Omega$ , kde je používaný už fyzicky a morálne opotrebovaný most komparátor Guildline typ 9920 a
- na rozšírení hodnotového a frekvenčného rozsahu pri AC meraniach.

Za ďalšie uchovanie tohto etalóna vo funkcii národného etalóna hovorí aj skutočnosť, že jeho výstupy sú často nevyhnutné pre zabezpečenie mnohých ďalších národných etalónov uchovávaných v SMÚ. Realizácia a uchovávanie tohto etalóna v SR je aj v súlade s presadzujúcimi sa názormi v rámci EU, kde je snaha, ak to nie je mimoriadne nákladné, zabezpečiť metrologickú nadväznosť meradiel na národnej úrovni a dodržiavanie jednotnosti a správnosti merania v jednotlivých štátoch únie kontrolovať medzinárodnými porovnaniami.

## 2. Podrobný popis NE elektrického odporu a s ním spojených zariadení .

Zostavu národného etalóna, ktorá sa oproti zostave pri jeho vyhlásení za národný etalón mierne zmenila, tvoria:

### a) *etalóny a zariadenia slúžiace na realizáciu a uchovávanie jednotky elektrického odporu - $\Omega$ pri DC*, ktoré obsahujú:

- základnú skupinu etalónov, tvoriaca národný skupinový etalón, obsahujúcu sedem etalónov elektrického odporu nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,
- jednosmerný prúdový most komparátor typu 9920 od firmy Guildline,
- náhradnú skupinu etalónov obsahujúcu sedem etalónov elektrického odporu nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,
- skupinu troch nadväzovacích etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,
- skupinu pracovných etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,
- pomocné zariadenia.

### b) *etalóny a zariadenia slúžiace na realizáciu stupnice odporu pri DC*, ktoré obsahujú:

- skupinu referenčných a nadväzovacích etalónov obsahujúcu osem etalónov elektrického odporu nominálnej hodnoty 10 k $\Omega$ ,
- jednosmerný prúdový most komparátor typu 9920 od firmy Guildline,
- automatický most komparátor MI 6000 od firmy Measurements International,
- Wheatstoneov odporový mostík typ 5577 A,
- vysokohmový mostík vlastnej výroby,
- sériovoparalelné prevodové miery elektrického odporu,
- skupiny etalónov a presné rezistorové dekády nominálnych hodnôt od  $10^{-4}$  do  $10^{12}$   $\Omega$ , slúžiacich ako pracovné etalóny,
- pomocné zariadenia.

### c) *etalóny a zariadenia slúžiace na realizáciu jednotky odporu pri AC a stupnice odporu pri AC*, ktoré obsahujú:

- skupinu etalónov s vypočítateľnými frekvenčnými závislosťami nominálnych hodnôt 10, 100 a 1 000  $\Omega$ ,
- skupinu etalónov odporu pre meranie AC nominálnych hodnôt 1, 10, 100, 1 000 a 10 000  $\Omega$ ,
- dvojité mostíky s indukčne viazanými pomerovými ramenami,
- pomocné zariadenia.

## 2.1 Opis etalónov a zariadení slúžiacich na uchovávanie jednotky el. odporu

Zostava členov základnej skupiny etalónov, tvoriacich národný skupinový etalón elektrického odporu, ktoré reprezentujú jednotku elektrického odporu SR je v tab. 1, členov náhradnej skupiny a nadväzovacích etalónov je v tab. 2. Obidve skupiny sú oproti stavu pri vyhlasovaní NE nezmenené, no s ohľadom na ich dôležitosť sú v správe uvedené. Podrobný zoznam pracovných a referenčných etalónov nominálnej hodnoty  $1 \Omega$  a pomocných zariadení, ktorý sa oproti roku 1997 nezmenil, je v literatúre [1].

Tab.1 Zostava etalónov základnej skupiny (tvoriacich národný skupinový etalón)

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	Výrobca	Rok výroby	Teplotné súčinitele etalóna	
					$\alpha$ (1/K)	$\beta$ (1/K <sup>2</sup> )
1	<b>1 816 013</b>	4 210	L & N	1973	+ 1,86x10 <sup>-6</sup>	- 0,52x10 <sup>-6</sup>
2	<b>1 758 739</b>	4 210	L & N	1970	+ 1,96x10 <sup>-6</sup>	- 0,52x10 <sup>-6</sup>
3	<b>078 572</b>	P 321	ZIP	1967	+ 7,2x10 <sup>-6</sup>	- 0,51x10 <sup>-6</sup>
4	<b>078 564</b>	P 321	ZIP	1967	+ 5,9x10 <sup>-6</sup>	- 0,64x10 <sup>-6</sup>
5	<b>078 567</b>	P 321	ZIP	1967	+ 5,3x10 <sup>-6</sup>	- 0,56x10 <sup>-6</sup>
6	<b>142 956</b>	P 321	ZIP	1968	+ 2,5x10 <sup>-6</sup>	- 0,49x10 <sup>-6</sup>
7	<b>078 582</b>	P 321	ZIP	1967	+ 4,6x10 <sup>-6</sup>	- 0,49x10 <sup>-6</sup>

Tab.2 Zostava etalónov náhradnej skupiny (etalóny por. číslo 8 až 14) a nadväzovacích etalónov (etalóny por. číslo 15 až 17).

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	VÝROBCA	Rok výroby
8	<b>222 039</b>	P 321	ZIP	1974
9	<b>222 312</b>	P 321	ZIP	1974
10	<b>222 266</b>	P 321	ZIP	1974
11	<b>221 976</b>	P 321	ZIP	1974
12	<b>222 321</b>	P 321	ZIP	1974
13	<b>222 290</b>	P 321	ZIP	1974
14	<b>222 274</b>	P 321	ZIP	1974
15	<b>1 859 009</b>	4 210	L&N	1973
16	<b>144 487</b>	P 321 T	ZIP	1967
17	<b>222 039</b>	P 321	ZIP	1974

## 2.2 Opis etalónov a zariadení slúžiacich na realizáciu stupnice elektrického odporu pri DC

Zostava členov tvoriacich skupinový etalón elektrického odporu nominálnej hodnoty 10k $\Omega$ , v ktorej bol doplnený etalón č. 30a, je v tab. 3. Zostava pracovných etalónov jednotlivých dekadických hodnôt, ktorá bola doplnená o niektoré novonadobudnuté presné rezistory, sú:

- v oblasti hodnôt pod 1 $\Omega$  (do 0,1 m $\Omega$ ) v tab. 4,
- nad 1  $\Omega$  (do 100 k $\Omega$ ) v tab. č. 5,
- od 1 M $\Omega$  do 100 T $\Omega$  (doplnené etalóny 10 G $\Omega$  až 100 T $\Omega$ ) v tab. č. 6.

Zostava referenčných a pracovných etalónových a pomocných zariadení, ktoré boli doplnené o vysokoohmový pomerový komparátor MI 6000 B a číslicový multimeter HP 3458 A sú v tab. 7.

Tab.3 Zostava členov skupinového etalóna nominálnej hodnoty 10 k $\Omega$ .

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	VÝROBCA	Rok výroby
24	<b>648 042</b>	SR 104	ESI	1977
25	<b>648 044</b>	SR 104	ESI	1977
26	<b>707 002</b>	SR 104	ESI	1977
27	<b>117 720</b>	P 331	ZIP	1967
28	<b>148 058</b>	P 331	ZIP	1967
29	<b>1 775 525</b>	4040-B	L&N	1978
30	<b>148 078</b>	P 321	ZIP	1967
30 a	<b>K 201110030104</b>	SR 104	TEGAM	2001

Tab.4 Pracovné etalóny nominálnych hodnôt 0,1; 0,01; 0,001 a 0,000 1  $\Omega$ .

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	VÝROBCA	Rok výroby
<b>0,1 <math>\Omega</math></b>				
31	068 362	P 321	ZIP	1967
32	140 530	P 321	ZIP	1969
33	140 532	P 321	ZIP	1969
<b>0,01 <math>\Omega</math></b>				
34	056 492	P 310	ZIP	1967
35	056 493	P 310	ZIP	1967
36	055 446	P 310	ZIP	1968
<b>0,001 <math>\Omega</math></b>				
37	049 896	P 310	ZIP	1968
38	134 718	P 310	ZIP	1969
39	1 763 642	4 223-B	L&N	1970
<b>0,000 1 <math>\Omega</math></b>				
40	1 864 746	RN/I	METRA	1964
41	1 001 785	RN/I	METRA	1967
42	132 456	P 323	ZIP	1969

Tab.5 Pracovné etalóny nominálnych hodnôt 10, 100  $\Omega$ , 1, 10 a 100 k $\Omega$ .

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	VÝROBCA	Rok výroby
<b>10 <math>\Omega</math></b>				
43	<b>089 829</b>	P 321	ZIP	1967
44	<b>151 883</b>	P 321	ZIP	1969
45	<b>151 890</b>	P 321	ZIP	1969
<b>100 <math>\Omega</math></b>				
46	<b>099 050</b>	P 331	ZIP	1967
47	<b>145 569</b>	P 331	ZIP	1969
48	<b>145 776</b>	P 331	ZIP	1969
48 a	<b>A 2020101 SR 102</b>	SR 102	TEGAM	2001
<b>1 k<math>\Omega</math></b>				
49	<b>106 478</b>	P 331	ZIP	1967
50	<b>107 746</b>	P 331	ZIP	1968
51	<b>108 774</b>	P 331	ZIP	1969
<b>10 k<math>\Omega</math></b>				
52	<b>117 717</b>	P 331	ZIP	1967



53	<b>148 060</b>	P 331	ZIP	1969
54	<b>148 056</b>	P 331	ZIP	1969
<b>100 kΩ</b>				
55	<b>126 423</b>	P 331	ZIP	1969
56	<b>127 931</b>	P 331	ZIP	1967
57	<b>128 827</b>	P 331	ZIP	1969
58	<b>129 188</b>	P 331	ZIP	1969

Tab.6 Pracovné etalóny nominálnych hodnôt 1, 10, 100 MΩ, 1, 10, 100 GΩ a 1, 10, 100 TΩ.

Poradové číslo etalóna	Výrobné číslo etalóna	TYP	VÝROBCA	Rok výroby
<b>1 MΩ</b>				
59	<b>241</b>	P 4011	ZIP	1974
60	<b>239</b>	P 4011	ZIP	1974
61	<b>2 084</b>	P 401	ZIP	1974
62	<b>279 474</b>	5615 B	TINSLEY	2001
<b>10 MΩ</b>				
63	<b>241</b>	P 4021	ZIP	1974
64	<b>2 100</b>	P 402	ZIP	1974
65	<b>297</b>	P 4021	ZIP	1974
66	<b>298</b>	P 4021	ZIP	1974
67	<b>275 094</b>	5615	TINSLEY	2001
<b>100 MΩ</b>				
68	<b>150</b>	P 4061	ZIP	1974
69	<b>151</b>	P 4061	ZIP	1974
70	<b>1 001 101</b>	9331	Meas. Intern.	2000
<b>1 GΩ</b>				
71	<b>359</b>	P 4030	ZIP	1974
72	<b>130</b>	P 4030	ZIP	1974
73	<b>360</b>	P 4030	ZIP	1974
74	<b>1 000 826</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000
<b>10 G, 100 G, 1 T, 10 T, 100 TΩ</b>				
75 (10 G)	<b>1 000 818</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000
76 (100 G)	<b>1 000 817</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000
77 (1 T)	<b>1 000 816</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000
78 (10 T)	<b>1 000 815</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000
79 (100 T)	<b>1 000 819</b>	9331 S	Meas. Intern.	2000

Tab. 7 Zostava referenčných a pracovných etalónových zariadení.

Por. číslo	Názov zariadenia	Základné technické parametre	Výrobca	Typ	Výr. č.	Rok výroby	Periódka kalibrácie (kontroly)
<b>Referenčné a pracovné etalónové zariadenia</b>							
1	Jednosmerný prúdový komparátor	$10^{-4}$ až $10^3 \Omega$ $u_c=5 \times 10^{-8}$ až $2 \cdot 10^{-7}$ šum $3 \times 10^{-8}$	Guildline	9920	33 651	1971	Kalibrácia 1 až 2 x / a s justážou
2	Vysokoohmový pomerový odporový komparátor	$10^3$ až $10^{12} \Omega$ $u_c=1 \times 10^{-8}$ až $5 \times 10^{-4}$	Meas. Internat.	6000 B	33 651	1971	Autokalibrácia
3	Číslicový multimeter	$10 \Omega$ až $10^9 \Omega$ $u_c=3 \times 10^{-6}$ až $3 \times 10^{-4}$	Hewlett Packard	3458 A	2823A 20612	1998	Kalibrácia 1 x / a
4	Wheatstoneov mostík	$10^5$ až $10^9 \Omega$ $u_c=1 \times 10^{-7}$ až $1 \cdot 10^{-6}$	Tinsley	5577 A	207 044	1975	Kalibrácia 1 x / 5a
5	Vysokoohmový mostík	$10^6$ až $10^{12} \Omega$ $u_c=1 \times 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-2}$	SMÚ	-	Inv.č.III 042 75	1980	Kalibrácia 1 x / 3a
6	Kombinovaná	$12 \times 10 \Omega$		SR 1010 /			Kalibrácia

	miera odporu	$\delta < 1 \times 10^{-5}$	ESI	LTC	141 010	1975	1 x / 2a
7	Kombinovaná miera odporu	$12 \times 1 \text{ k}\Omega$ $\delta < 1 \times 10^{-5}$	ESI	SR 1010	215 008	1975	Kalibrácia 1 x / 2a
8	Kombinovaná odpor. dekáda	$12 \times 10 \text{ k}\Omega$ $\delta < 5 \times 10^{-6}$	ESI	SR 1010 MTB	144 003	1975	Kalibrácia 1 x / 2a
9	Kombinovaná miera odporu	$12 \times 100 \text{ k}\Omega$ $\delta < 1 \times 10^{-5}$	ESI	SR 1010	136 004	1975	Kalibrácia 1 x / 2a
10	Kombinovaná miera odporu	$10 \times 10 \text{ M}\Omega$ $\delta < 2 \times 10^{-5}$	ESI	SR 1050	208 002	1977	Kalibrácia 1 x / 2a
11	Odporová dekáda	$1 \Omega$ až $1,2 \text{ M}\Omega$ $\delta < 2 \times 10^{-5}$	ESI	RS 624	Inv.č.III 028 43	1975	Kalibrácia 1 x / a
12	Kombinovaná miera odporu	$10 \times 100 \text{ k}\Omega$ tr.p. 0,05	ZIP	P 4080	0558	1973	Kalibrácia 1 x / 5a
13	Kombinovaná miera odporu	$10 \times 1 \text{ M}\Omega$ tr.p. 0,05	ZIP	P 4081	0556	1973	Kalibrácia 1 x / 3a
14	Kombinovaná miera odporu	$10 \times 10 \text{ M}\Omega$ tr.p. 0,05	ZIP	P 4082	0554	1973	Kalibrácia 1 x / 3a
15	Kombinovaná miera odporu	$10 \times 100 \text{ M}\Omega$ tr.p. 0,1	ZIP	P 4083	0558	1973	Kalibrácia 1 x / 3a
16	Odporová dekáda	$10 \times 1 \text{ G}\Omega$ tr.p. 0,1	ZIP	P 40103	Inv.č. III 056 70	1988	Kalibrácia 1 x / 2a
17	Kombinovaný odpor. etalón	$1 \text{ G}\Omega$ až $1 \text{ T}\Omega$ tr.p. 0,5 až 1	SMÚ	P 4030	084	1988	Kalibrácia 1 x / 5a

### 2.3 Opis etalónov a zariadení slúžiacich na realizáciu stupnice elektrického odporu pri striedavom elektrickom prúde

Zostava referenčných etalónov elektrického odporu pre meranie striedavým elektrickým prúdom nominálnych hodnôt od  $10 \Omega$ ,  $100 \Omega$  a  $1 \text{ k}\Omega$  je v tab. 8.. Zostavy pracovných etalónov, referenčných a pracovných etalónových zariadení a pomocných zariadení a prístrojov pre túto oblasť meraní, ktoré sa oproti roku 1997 nezmenili, sú v literatúre [1]. Tieto boli oproti roku 1997 doplnené o olejový termostat HAAKE a číslicové meradlá relatívnej vlhkosti vzduchu a teploty, ktoré sú uvedené v tab. 9.

Tab. 8 Referenčné etalóny na merania odporu pri striedavom prúde.

Poradové číslo etalóna	Inventárne číslo etalóna	TYP	Nominálna hodnota odporu	VÝROBCA	Rok výroby
80	III-04308/1	EK 10	$10 \Omega$	ČVUT	1984
81	III-04308/2	EK 100	$100 \Omega$	ČVUT	1984
82	III-04308/4	EPS 100	$100 \Omega$	ČVUT	1984
83	III-04308/3	EPS 1000	$1000 \Omega$	ČVUT	1984

Tab. 9 Prehľad pomocných prístrojov, ktorými bola zostava doplnená.

Por. číslo	Názov zariadenia	Základné technické parametre	Výrobca	Typ	Výr. č.	Rok výroby	Periódka kalibrácie (kontroly)
<b>Pomocné prístroje a zariadenia</b>							
1	Olejový termostat	- 30 až $200 \text{ }^\circ\text{C}$ $0,01 \text{ }^\circ\text{C}$	HAAKE	W 26 DC 30	1199901... ../074	1998	Kontrola 1 x / a
2	Digitálny teplomer a vlhkomer	-10 až $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$ $0,1 \text{ K}$	Tempotec	-	02/241	2000	Kalibrácia 1 x / 2a
3	Digitálny teplomer	-10 až $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$ $0,1 \text{ K}$	Sensitest	-	04/241	1999	Kontrola 1 x / 2a

### 3. Špecifikácia metrologických vlastností národného etalóna elektrického odporu a prehľad výsledkov výskumu a vývoja

Na uchovávanie a reprodukovanie jednotky elektrického odporu v SMÚ slúži skupina etalónov elektrického odporu nominálnej hodnoty  $1 \Omega$ , ktorých zostava je uvedená v tab.1. Správnosť jednotky uchováanej a reprodukovanej strednou hodnotou tejto skupiny je zabezpečovaná jej pravidelnými nadviazaniami na hodnotu ohmu v BIPM, ktorá je reprezentovaná taktiež skupinovým etalónom a realizácia jej reprezentatívnej hodnoty je zabezpečená na báze kvantového etalóna prostredníctvom kvantového Hallovhého odporu. Nadviazanie tejto skupiny etalónov na hodnotu BIPM, prostredníctvom nadväzovacích etalónov nominálnej hodnoty  $1 \Omega$ , ktoré sú uvedené v tab. 2 (etalóny por. č. 15 až 17), sa uskutočňuje v roku 2004. V medziobdobiach medzi nadviazaniami na hodnotu BIPM sa etalóny tejto skupiny nadväzujú na strednú hodnotu skupiny, ktorá je každoročne korigovaná o jej predpokladanú ročnú zmenu. Na základe týchto meraní sa vyhodnocuje stálosť zistených hodnôt etalónov a ich neistoty. Postup vlastného porovnania členov skupiny, vychádzajúci z Thiesenovej metódy vzájomného porovnania členov, je popísaný v [6]. Postup je zameraný na spracovanie výsledkov jednej série meraní s cieľom analyzovať neistoty výsledkov tejto série porovnaní.

V priebehu rokov 2000 až 2004 boli každoročne realizované 3 série vzájomných porovnaní základnej skupiny etalónov nominálnej hodnoty  $1 \Omega$ , pričom výsledky porovnaní boli podkladom pre výpočet hodnôt jednotlivých členov vo vzťahu ku korigovanej strednej hodnote skupiny. Následne bola na hodnoty troch vybraných členov základnej skupiny nadviazaná náhradná skupina etalónov a cestovné etalóny. S náhradnou skupinou etalónov, cestovnými etalónami a troma vybranými členmi základnej skupiny bolo v priebehu rokov 2000 až 2004 každoročne uskutočnené vzájomné porovnanie v rámci dvoch sérii meraní.

Na porovnávanie členov základnej a náhradnej skupiny etalónov sa používa most komparátor Guildline typ 9920. Most bol v priebehu rokov 2000 až 2004 každoročne dva krát kalibrovaný. Každá kalibrácia bola spojená s justážou jeho odporových deličov a následnou kontrolou stálosti dojustovaných hodnôt vytvárajúcich zlomkové ampérvávity. Podrobnosti popisujúce rozbor chýb mosta, z ktorých sa pri kalibrácii vychádzalo sú uvedené v literatúre [6] a [9]. Vychádzajúc z realizovaných kalibrácií, ktoré predchádzala čo najprecíznejšia justáž mosta, bol dosiahnutý stav, pri ktorom relatívna kombinovaná štandardná neistota priameho porovnania dvoch rezistorov na moste neprekračovala  $7 \times 10^{-8}$  a pri substitučnej metóde merania používanej pri porovnávaní základnej skupiny neprekračovala  $4 \times 10^{-8}$ . Pre takéto prípady smerodajná odchýlka vzájomného porovnania členov skupiny etalónov je typicky okolo  $1,5$  až  $2 \times 10^{-8}$  [1]. Tým pri meraniach základnej skupiny etalónov v rokoch 2000 až 2004 bolo dosiahnuté, že uplatňujúce sa chyby mosta boli o niečo väčšie ako boli dosiahnuté v roku 1997 pri vyhlasovaní etalóna za národný etalón.

Pri meraní etalónových rezistorov medzi faktory, ktoré výrazne ovplyvňujú neistotu ich zistených hodnôt patrí aj dodržanie referenčných podmienok, a to najmä referenčnej teploty, referenčného atmosférického tlaku a pri etalónoch vyšších ohmických hodnôt (nad  $10 \text{ k}\Omega$ ) aj relatívnej vlhkosti okolitého prostredia. Pre skupinové etalóny na úrovni  $1 \Omega$  najväčšie zložky neistoty z hľadiska nedodržania referenčných podmienok, s ktorými bolo počítané aj pri uvádzaných porovnaní v rokoch 1998 a 1999, boli:

- neistota hodnôt etalónov spôsobená nedodržaním základnej referenčnej teploty ,
- neistota spôsobená nestálosťou teploty v priebehu merania,
- neistota spôsobená atmosférickým tlakom a jeho zmenami v priebehu meraní.

Pretože etalóny základnej skupiny majú závislosť od teploty okolo  $5 \times 10^{-6} / \text{K}$  (najhorší etalón má  $\alpha = 7,2 \times 10^{-6} / \text{K}$ ) na zistenie ich pravej hodnoty s relatívnou neistotou od zmien teploty menšou ako  $1 \times 10^{-7}$  je potrebné udržiavať ich teplotu v priebehu merania stále aspoň na 0,015 K. Vychádzajúc z tejto požiadavky sa v oblasti národného etalóna používa na termostatizovanie etalónov kvapalinový termostat typu 9730 CR od firmy Guildline. Jeho niekoľkokrátnejšie stálosť nastavenej teploty je lepšia ako 0,003 K, pričom teplotné gradienty v olejovom kúpeli obsahu 120 l neprekračujú 0,005 K. Termostat bol v období rokov 2000 až 2004 štyrikrát kontrolovaný a následne bolo spresnené nastavenie jeho základnej teploty. Za základnú referenčnú teplotu pre špičkové merania v SMÚ sa doteraz berie  $20^{\circ}\text{C}$ , ale od roku 2002 je to aj teplota  $23^{\circ}\text{C}$ . Vzhľadom k tomu, že BIPM a prevážna väčšina metrologických inštitúcií prešli už v priebehu roku 1998 na novú základnú teplotu  $23^{\circ}\text{C}$ , v priebehu rokov 2000 až 2004 plynulo sa prechádza na ňu aj v SMÚ v laboratóriu elektrického odporu. Pri jej zavedení nám výrazne pomohol nový 20 l kvapalinový termostat od firmy Haake typ DC30 s chladiacim zariadením typ EK 20, ktorý garantuje dodržanie nastavenej teploty na  $\pm 0,01$  K. Termostat bol v období rokov 2002 až 2004 trikrát kontrolovaný s následným spresneným nastavených teplôt. Tým sa v laboratóriu vytvorili podmienky plynulého prechodu na teplotu  $23^{\circ}\text{C}$  pri súčasnom zabezpečení aj teploty  $20^{\circ}\text{C}$ .

Na presné meranie teploty v termostatoch sa používa stoohmový odporový teplomer typ TSPN 1, pomocou ktorého sa dosahuje rozšírená neistota merania teploty (pre  $k=2$ ) okolo 0,003 K. Teplomer je kalibrovaný v centre termometrie. Na kontrolné merania teploty v porovnávaných etalónových odporoch sa používajú sklenené teplomery s delením stupnice na 0,01 K, na ktoré sa aplikuje korekcia na chyby zistené pri ich kalibrácii.

Vychádzajúc z toho, že etalóny nominálnej hodnoty  $1 \Omega$  majú súčiniteľ atmosférického tlaku od 3 do 30 n $\Omega$ /kPa porovnávaní členov skupinových etalónov sa robili pri základnom - strednom atmosférickom tlaku 101 kPa s jeho prípustnou fluktuáciou neprekračujúcou 1 kPa (pri meraniach iných nominálnych hodnôt neprekračujúcou 3 kPa). Pretože pre väčšinu etalónov nie sú známe súčinitele atmosférického tlaku, zavedenie korekcií odporových hodnôt na skutočný atmosférický tlak pri porovnávanom meraní nie je zatiaľ možné.

Z hľadiska celkového hodnotenia úrovne základnej skupiny etalónov hodnoty  $1 \Omega$  v SMÚ vychádzajúc z [1] je potrebné uviesť, že v období rokov 1985 až 1996 na základe niekoľkokrát uskutočnených porovnaní s BIPM a ďalšími metrologickými ústavmi sa zaviedla každoročná korekcia strednej hodnoty tejto skupiny o jej predpokladanú ročnú zmenu. Táto bola v roku 1997 spresnená a na ďalšie obdobie bola predikovaná ako očakávaná zmena  $-71$  n $\Omega$ /a, a neskôr bola spresnená na  $-0,41$  n $\Omega$ /a. Na základe analýzy uskutočnenej pri vyhlásení etalóna za národný etalón to viedlo k záveru, že v SMÚ uchovávaná jednotka odporu má zhodu s  $\Omega$  realizovaným na základe tak absolútneho merania ako aj kvantového Hallovhovho javu na úrovni okolo  $1 \times 10^{-7}$ . Pri hodnotení porovnávacích meraní v rokoch 1998 a 1999 sa vychádzalo z predpokladu platnosti tejto zhody. Tento predpoklad bol potvrdený aj uskutočnenými medzinárodnými porovnávacími meraniami, ktoré budú uvedené v kapitole 4.

Výsledky vzájomných porovnaní realizovaných za celé obdobie sledovania skupiny etalónov sú v tab. 10. V priebehu rokov 2000 až 2004 boli tieto výsledky vzťahované na zachovanú strednú hodnotu skupiny, na vývoj ktorej je aplikovaný jej predpokladaný trend. Kvôli prehľadnosti sú výsledky týchto porovnaní spracované aj graficky (graf 1).

Zmena hodnôt členov skupiny, ako aj jej strednej hodnoty, uvádzaná v roku 1990 (tak v tab. 10, ako aj v grafe 1) vychádza z odporúčania Medzinárodného výboru pre váhy a miery (CIPM) č. 2, ktoré bolo prijaté v roku 1988 na 77 zasadnutí výboru. Odporúčanie bolo

založené na návrhu predloženom jeho poradným výborom pre elektrinu (CCE), upraviť k 1.1. 1990 hodnotu referenčných etalónov elektrického odporu v súlade s konvenčne prijatou hodnotou von Klitzingovej konštanty  $R_{K90} = 25\,812,807\ \Omega$  presne. V SMÚ, na základe tohto odporúčania, sa k uvedenému dátumu zmenila stredná hodnota skupinového etalóna odporu, ako aj hodnoty jeho členov o  $-1,93\ \mu\Omega$ .

Celkové zhodnotenie uplatňujúcich sa zdrojov neistoty a zhodnotenie celkovej neistoty hodnôt členov základného skupinového etalóna z hľadiska vzájomných krížových porovnaní uskutočnených v rokoch 2000 až 2004 a nadviazania ich hodnôt na strednú hodnotu skupiny je v tab. 11.

Analogicky v tab. 12 a grafe 2 sú uvedené výsledky vzájomných porovnaní pre náhradnú jednoohmovú skupinu etalónov za celé obdobie ich sledovania. Zhodnotenie uplatňujúcich sa zdrojov ich neistoty z hľadiska ich nadviazania na  $\Omega$  BIPM je v tab.13.

Tab.10 Prehľad hodnôt členov základnej skupiny etalónov z ich nadviazania na hodnotu ohmu BIPM a nadviazania na strednú hodnotu skupiny za roky 1972 až 2004. Kvôli zjednodušeniu hodnoty sú uvádzané v  $\mu\Omega$  bez uvedenia prvých troch čísiel (t.j. 999 ...  $\mu\Omega$ ).

	1972	1975	1977	1981	1986	1990	1990	1996
LN 1816013	979,25	979,15	978,85	978,99	979,40	979,78	977,88	977,68
LN 1758739	977,59	978,04	977,64	977,64	977,93	978,11	976,21	976,05
ZIP 078 572	973,36	973,21	972,93	972,70	972,44	972,16	970,26	969,85
ZIP 078 564	990,55	989,83	989,63	989,20	988,91	988,54	986,64	986,45
ZIP 078 567	995,75	994,87	994,61	994,26	993,91	993,51	991,61	991,34
ZIP 142 956	988,45	988,11	987,94	988,00	987,95	987,92	986,02	985,88
ZIP 078 582	989,85	989,55	989,37	989,33	989,25	989,17	987,27	987,09
<b>R str.</b>	<b>984,97</b>	<b>984,68</b>	<b>984,42</b>	<b>984,30</b>	<b>984,26</b>	<b>984,17</b>	<b>982,27</b>	<b>982,05</b>

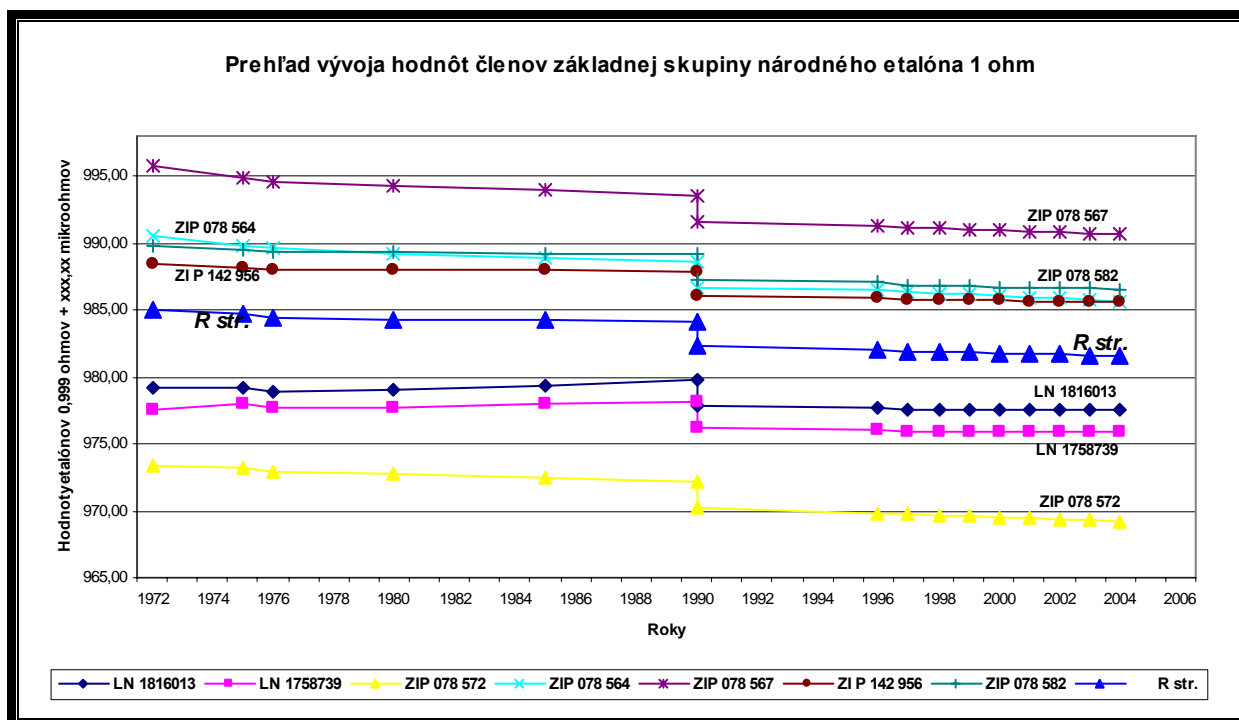
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
LN 1816013	977,55	977,56	977,56	977,57	977,57	977,58	977,58	977,56
LN 1758739	975,95	975,94	975,94	975,93	975,92	975,91	975,91	975,90
ZIP 078 572	969,75	969,67	969,60	969,52	969,44	969,36	969,29	969,22
ZIP 078 564	986,35	986,26	986,16	986,07	985,97	985,88	985,78	985,66
ZIP 078 567	991,18	991,10	991,02	990,94	990,86	990,78	990,70	990,64
ZIP 142 956	985,78	985,75	985,73	985,70	985,68	985,65	985,63	985,63
ZIP 078 582	986,83	986,79	986,75	986,71	986,67	986,63	986,60	986,56
<b>R str.</b>	<b>981,91</b>	<b>981,87</b>	<b>981,82</b>	<b>981,78</b>	<b>981,73</b>	<b>981,68</b>	<b>981,64</b>	<b>981,60</b>

Tab. 11 Zhodnotenie neistôt hodnôt členov základnej skupiny etalónov ( $1\ \Omega$ ).

<b>Zdroje neistoty</b>		
<b>1) Neistota typu A:</b>		
➤	Výberová smerodajná odchýlka výberového priemeru	30 n $\Omega$
<b>2) Neistoty typu B:</b>		
➤	Štandardná neistota určenia strednej hodnoty skupiny etalónov	45 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená hladinou šumu komparátora	18 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená napäťovou citivosťou komparátora	6 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená driftom olejového kúpeľa pri porovnávaní	21 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená driftom atmosférického tlaku	25 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená oteplením etalónov pretekajúcim prúdom	20 n $\Omega$
➤	Štandardná neistota spôsobená chybou aplikácie ročného driftu strednej hodnoty	25 n $\Omega$
<b>SPOLU:</b>		
•	štandardná neistota typu A	30 n $\Omega$
•	výsledná štandardná neistota typu B	67 n $\Omega$
<b>VÝSLEDOK:</b>		
□	kombinovaná štandardná neistota určenia hodnôt etalónov $u_c$	73 n $\Omega$

- aplikovaný ročný drift strednej hodnoty skupiny
- najväčšia zistená zmena hodnoty členov skupiny etalónov

- 41 nΩ  
125 nΩ



Graf 1

Tab.12 Prehľad hodnôt členov náhradnej skupiny etalónov z ich nadviazania na hodnotu ohmu BIPM a nadviazania na strednú hodnotu skupiny za roky 1979 až 2004. Kvôli zjednodušeniu hodnoty sú uvádzané v  $\mu\Omega$  bez uvedenia prvých troch čísiel (t.j. 999 ...  $\mu\Omega$ ).

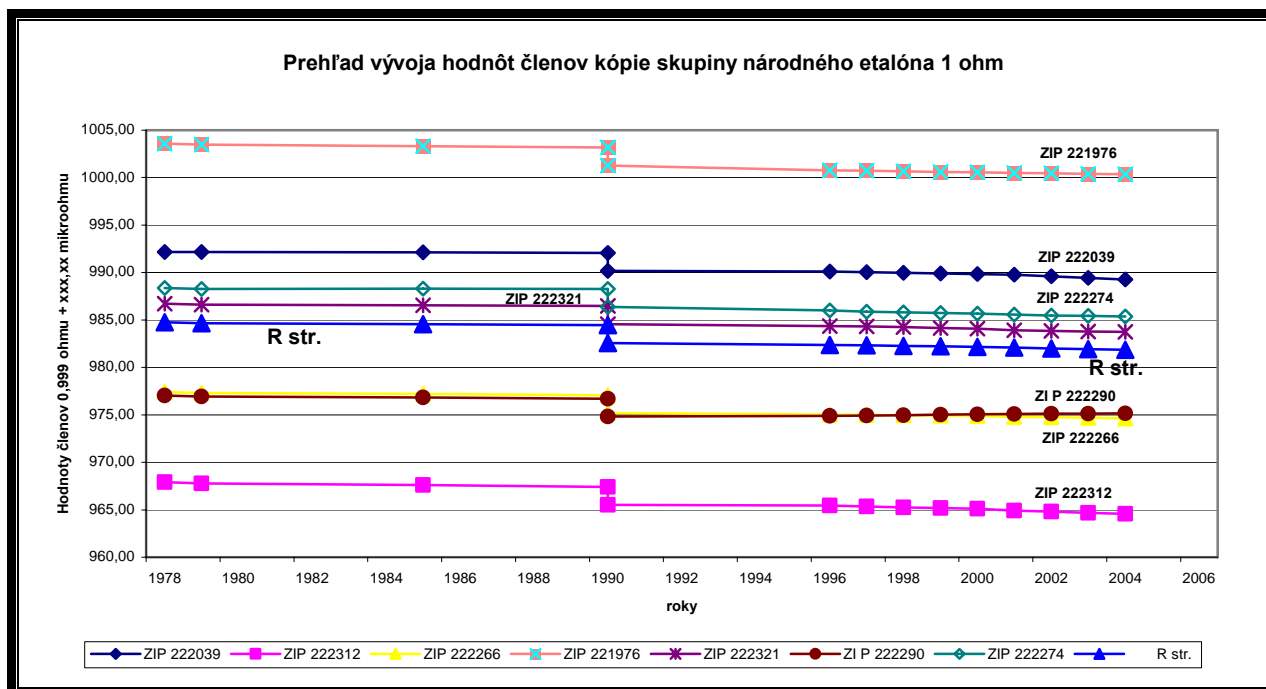
	1979	1980	1986	1991	1991	1996	1997	1998
ZIP 222039	992,18	992,17	992,12	992,08	990,18	990,11	990,04	989,97
ZIP 222312	967,90	967,78	967,60	967,42	965,52	965,44	965,35	965,27
ZIP 222266	977,43	977,31	977,21	977,09	975,19	975,02	975,00	974,94
ZIP 221976	1003,59	1003,49	1003,32	1003,17	1001,27	1000,75	1000,71	1000,65
ZIP 222321	986,72	986,62	986,54	986,46	984,56	984,35	984,32	984,24
ZI P 222290	977,05	976,93	976,84	976,71	974,81	974,88	974,91	974,97
ZIP 222274	988,37	988,26	988,30	988,27	986,37	986,01	985,88	985,79
<b>R str.</b>	<b>984,75</b>	<b>984,65</b>	<b>984,56</b>	<b>984,46</b>	<b>982,56</b>	<b>982,37</b>	<b>982,32</b>	<b>982,26</b>

	1999	2000	2001	2002	2003	2004		
ZIP 222039	989,90	989,83	989,76	989,60	989,45	989,29		
ZIP 222312	965,19	965,11	964,93	964,80	964,68	964,57		
ZIP 222266	974,92	974,88	974,80	974,76	974,69	974,62		
ZIP 221976	1000,60	1000,54	1000,48	1000,44	1000,40	1000,36		
ZIP 222321	984,15	984,07	983,92	983,84	983,79	983,74		
ZI P 222290	975,01	975,07	975,09	975,12	975,11	975,16		
ZIP 222274	985,75	985,68	985,58	985,47	985,43	985,37		
<b>R str.</b>	<b>982,22</b>	<b>982,17</b>	<b>982,08</b>	<b>982,00</b>	<b>981,94</b>	<b>981,872</b>		

Tab. 13 Zhodnotenie neistôt hodnôt členov náhradnej skupiny a cestovných etalónov (nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ).

<b>Zdroje neistoty</b>		
<b>3) Neistota typu A:</b>		
➤ Výberová smerodajná odchýlka výberového priemeru		40 nΩ
<b>4) Neistoty typu B:</b>		
➤ Štandardná neistota určenia strednej hodnoty nadväzovacej skupiny etalónov		55 nΩ
➤ Štandardná neistota spôsobená hladinou šumu komparátora		18 nΩ

<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Štandardná neistota spôsobená napäťovou citlivosťou komparátora</li> <li>➤ Štandardná neistota spôsobená driftom olejového kúpeľa pri porovnávaní</li> <li>➤ Štandardná neistota spôsobená driftom atmosferického tlaku</li> <li>➤ Štandardná neistota spôsobená oteplením etalónov pretekajúcim prúdom</li> <li>➤ Prídavné štandardné neistoty</li> </ul>	6 nΩ 25 nΩ 25 nΩ 20 nΩ 30 nΩ
<b>SPOLU:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• štandardná neistota typu A</li> <li>• výsledná štandardná neistota typu B</li> </ul>	40 nΩ 77 nΩ
<b>VÝSLEDOK:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ kombinovaná štandardná neistota určenia hodnôt etalónov <math>u_c</math></li> <li>□ najväčšia zistená zmena hodnoty členov skupiny etalónov</li> </ul>	87 nΩ 145 nΩ



Graf 2

### 3.2 Verifikovanie metrologických parametrov etalónov a zariadení slúžiacich na realizáciu DC stupnice elektrického odporu

Stupnica odporu pri DC je v SMÚ realizovaná v rovnakom rozsahu ako pri vyhlasovaní národného etalóna, takže pokrýva rozsah od  $10^{-4}$  do  $10^{12} \Omega$  s možnosťou merania hodnôt  $10^{13} \Omega$ . Na tieto účely sú používané tri základné etalónové zariadenia (most komparátor Guildline 9920, vysokoohmový pomerový komparátor MI 6000B a meranie na odporových rozsahoch číslicového multimetra Hewlett Packard 3458 A). Pri týchto meraniach je použitá rozsiahla zostava etalónov odporu, etalónových odporových dekád a kombinovaných odporových prevodových mier vhodných pre sériovoparalelné prepojenie rezistorov. Pomocou nich sú odvodzované desiatkové diely a násobky  $\Omega$  [1], [2], [6]. Zjednodušené znázornenie dnes v SMÚ zabezpečovanej stupnice odporu pri DC s uvedením základných zariadení a etalónov a vyznačeným medzinárodným porovnaním len vo vzťahu k BIPM, ktoré realizujeme približne v intervale päť rokov je na obr. 1. V tomto obrázku sa oproti stavu pri vyhlasovaní národného etalóna zmenilo nasledujúce:

1) Oblasť merania stredných a malých odporov je dnes pokrytá ďaleko presnejším zariadením – komparátorom MI 6000 B, ktorý výrazne spresnil merania nad 1 kΩ.

2) Pre oblasť stredných odporov sa používa číslicový multimeter, ktorý výrazne zjednodušil a urýchlil merania v rozsahu do 100 MΩ a pri aplikácii substitučných meraní je

jeho presnosť porovnateľná s presnosťou na Whetstonovom mostíku používanom pri vyhlasovaní etalóna za NE.

3) Zostava etalónov bola doplnená o presné etalóny TEGAM  $100\ \Omega$  a  $10\ k\Omega$ , etalóny Tinsley  $1$  a  $10\ M\Omega$  a etalóny MI hodnoty  $10\ k\Omega$  a v rozsahu hodnôt od  $100\ G\Omega$  do  $100\ T\Omega$ , ktoré vylepšili situáciu tak v oblasti stredných odporových hodnôt  $100\ \Omega$  a  $10\ k\Omega$ , ako aj v oblasti vysokoohmových meraní od  $1\ M\Omega$  do  $100\ T\Omega$ .

Meracie zariadenia a metódy	Pracovné (referenčné) etalóny	Referenčné prevodové etalóny	Medzinárodné porovnávanie
<p>JEDNOSMERNÝ MOST KOMPARÁTOR</p> <p>Guildline Model 9920</p> <p>Porovnavacie alebo pomerové meranie</p>		<p>Porovnávací etalón <math>1\ \Omega</math></p> <p>Základná skupina <math>1\ \Omega</math></p> <p>Porovnávací etalón ESI SR 1010 - <math>10 \times 10\ \Omega</math></p>	<p><math>1; 10; 100\ m\Omega</math></p> <p>VNIIM (USSR) ASMW</p> <p><b><math>1\ \Omega</math> BIPM</b></p>
<p>WHEATSTONOV MOST</p> <p>Substitučná metóda</p>		<p>Porovnávací etalón ESI SR 1010 - <math>10 \times 1\ k\Omega</math></p> <p>Porovnávací etalón ESI SR 1010 - <math>10 \times 100\ k\Omega</math></p>	<p><b><math>10\ k\Omega</math> BIPM</b></p>
<p>VYSOKOOHMOVÝ MOST</p> <p>Substitučná metóda alebo pomerové meranie</p>		<p>Porovnávací etalón ESI SR 1050 - <math>10 \times 10\ M\Omega</math></p> <p>Porovnávací etalón <math>10 \times 100\ M\Omega</math></p> <p>Porovnávací etalón <math>10 \times 1\ G\Omega</math> a <math>10 \times 10\ G\Omega</math></p> <p>Porovnávací etalón <math>10 \times 100\ G\Omega</math> a <math>10 \times 1\ T\Omega</math></p>	

Obr. 1 Bloková schéma odvodzovania desiatkových násobkov a dielov ohmu v SMU, s uvedením medzinárodnej nadväznosti a aplikovaných meracích metód.

Zároveň je zachované, že za najdôležitejšie sa pokladá nadväznosť na BIPM. Pokiaľ nie je v SMÚ ukončený výskum v oblasti kvantového Hallovoho odporu, je táto zárukou



správnosti v SMÚ uchovávanej hodnoty odporu. V tomto duchu sa v priebehu roka 2004 uskutočnilo nadviazanie odporu na BIPM. Dnes sa už z BIPM vrátili cestovné etalóny 3 ks hodnoty  $1\ \Omega$  a 2 ks hodnoty  $10\ \text{k}\Omega$ , ktorých certifikáty z BIPM sa v dohľadnom čase v SMÚ očakávajú. Po zohľadnení ich stálosti a uskutočnení krížových meraní so skupinovými etalónami, sa zhodnotí stav vývoja hodnoty skupiny, a ak to bude potrebné spresní sa jej trend.

Určitou zmenou oproti obr. 1 je, že medzinárodné porovnania niektorých prvkov stupnice odporu orientujeme ako súčasť medzinárodných porovnaní, buď v rámci EUROMETu, DUNAMETu resp. niektorých dohodnutých dvojstránok či iných medzinárodne uskutočňovaných porovnaní. Tak v priebehu rokov 1998 sme uskutočnili porovnania etalónov menovitej hodnoty  $1\ \Omega$  s ČMI (v rámci DUNAMET),  $10\ \Omega$  a  $10\ \text{k}\Omega$  s NMI – Van Swinden Laboratorium (v rámci PRAQ III). Podrobnosti sú uvedené v kapitole 4.

### 3.2.1 Stupnica v oblasti malých odporov

Na tvorbu stupnice odporu pri DC v oblasti malých odporov sa využívajú pomerové merania na moste komparátore typu 9920. Most okrem porovnaní v pomere  $1000 : 1000$ , ktorý sa používa na porovnávanie etalónov rovnakých nominálnych hodnôt, umožňuje aj porovnávanie etalónov rôznych nominálnych hodnôt, a to v pomeroch  $1000 : 100$ ,  $1000 : 10$  a  $1000 : 1$ . Takéto porovnávacie merania sa využívajú na odvodenie hodnôt odporu od  $1\ \Omega$ , a to v jednom smere do  $10^{-4}\ \Omega$  a v opačnom do  $100\ \Omega$ . Na odvodenie hodnôt nad  $100\ \Omega$  sa most pre vysokú hladinu šumu nedá použiť.

Pri rozbere neistoty pomerových meraní na moste komparátore sa počíta so všetkými uplatňujúcimi chybami mosta, s neistotou konvenčne pravej hodnoty referenčného etalóna, s neistotami spôsobenými vplyvmi okolia (teplota, tlak) a s vplyvom zaťaženia etalóna. Podrobný rozbor chýb mosta uplatňujúcich sa pri pomerových meraniach je v [4] a [5]. V rokoch 2000 až 2004 bol most opakovane dojustovávany a následne kalibrovaný. Najväčšia relatívna chyba pomeru mosta po jeho dojustovaní a následných kalibráciách vzťahnutá na základných  $1000$  závitov mosta je pre pomer  $1000 : 100$  menšia ako  $2 \times 10^{-9}$ , čo pre odvodenie desaťnásobne väčšej a menšej hodnoty na strane  $100$  závitov znamená relatívnu chybu menšiu ako  $3 \times 10^{-8}$ . Z čoho relatívna kombinovaná štandardná neistota je okolo  $1,8 \times 10^{-8}$ . Podobne pre pomer  $1000 : 10$  bola zistená relatívna kombinovaná štandardná neistota odvodenej hodnoty okolo  $7 \times 10^{-8}$  a pre pomerové merania v pomere  $1000 : 1$  bola relatívna štandardná neistota odvodenej hodnoty do  $2,5 \times 10^{-6}$ .

Relatívna kombinovaná štandardná neistota priameho merania na moste, ako bolo uvedené, neprekročí  $6 \times 10^{-8}$ . Neistota zisťovanej hodnoty etalóna spôsobená šumom mosta je závislá od využitého počtu závitov mosta a od prúdu tečúceho týmito závitmi. Neistoty spôsobené nedodržaním okolitých podmienok a ich driftami majú analogické uplatnenie na neistotu ako v prípade etalónov zabezpečujúcich jednotku odporu. Z hľadiska celkového hodnotenia neistôt odvodených hodnôt stupnice v oblasti malých odporov oproti roku 1999 nastalo opäť mierne zhoršenie (cca 20 %) pri odvodzovaných hodnotách  $1\ \text{m}\Omega$  a  $0,1\ \text{m}\Omega$ . Je to spôsobené predovšetkým znížením citlivosti prúdového komparátora (jeho dlhodobým používaním – zhoršením zosilnenia nulového indikátora), ako aj zhoršením stálosti dojustovávanych hodnôt odporových deličov mosta. Prehľad relatívnych kombinovaných štandardných neistôt uplatňujúcich sa pri tvorbe DC stupnice odporu v oblasti malých odporov (až do hodnoty  $100\ \Omega$ ) pomocou mosta komparátora je v tab. 14.

Tab. 14 Relatívne kombinované štandardné neistoty DC stupnice odporu vytváranej pomerovými meraniami na moste komparátore.

Pomer mosta komparátora	Referenčná a odvodená hodnota odporu (v $\Omega$ )	Relatívna štandardná neistota odvodenej hodnoty typu A	Výsledná relatívna štandardná neistota typu B	Poznámka
1000 / 100	<b>1 → 0,1</b>	$1,7 \times 10^{-7}$	$3,5 \times 10^{-7}$	
1000 / 10	<b>1 → 0,01</b>	$2,9 \times 10^{-7}$	$6,5 \times 10^{-7}$	
1000 / 100	<b>0,1 → 0,001</b>	$4,5 \times 10^{-7}$	$1,1 \times 10^{-6}$	odvod. od $1 \Omega$ *
1000 / 10	<b>0,01 → 0,0001</b>	$1,1 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6}$	odvod. od $1 \Omega$ *
100 / 1000	<b>1 → 10</b>	$2,3 \times 10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-7}$	
100 / 1000	<b>10 → 100</b>	$6,8 \times 10^{-7}$	$1,2 \times 10^{-6}$	odvod. od $1 \Omega$ *

Poznámky: → vyjadruje, že sa jedná o nadväznosť odvodenej hodnoty od referenčnej.

\* v tabuľke uvádzané štandardné neistoty vyjadrujú nadväznosť na etalóny  $1 \Omega$ .

### 3.2.2 Stupnica v oblasti stredných odporov

Na tvorbu stupnice odporu v oblasti stredných odporov od  $10 \Omega$  do hodnoty  $1 \text{ M}\Omega$  je v SMÚ využívaná substitučná metóda merania na moste komparátore Guildline typ 9920 (do hodnoty  $100 \Omega$ ), alebo most komparátor MI 6000B (nad  $100 \Omega$ ) a kombinované prevodové dekády od firmy ESI nominálnych hodnôt  $12 \times 10 \Omega$ ,  $12 \times 1 \text{ k}\Omega$  a  $12 \times 100 \text{ k}\Omega$ , ktoré majú možnosť sériovoparalelného prepojenia jednotlivých rezistorov. Teória sériovoparalelného prepojenia vychádza z literatúry [24], [25], [26] a [27] a skrátene je uvedená v správach [1] a [5]. Vyjadrenie medzných chýb kombinovaných prevodových dekád a neistôt nimi odvodených hodnôt je podrobne uvedené v správe [6]. V nej je podrobne uvedený postup kalibrácie dekád zahrňujúci všetky potrebné merania rozhodujúcich parametrov dekád s cieľom podrobne analyzovať všetky pri tvorbe stupnice odporu uplatňujúce sa neistoty. Medzi najdôležitejšie z nich patria:

- neistoty spôsobené odchýlkami hodnôt jednotlivých rezistorov dekád od ich nominálnych hodnôt,
- neistoty spôsobené odpormi spojovacích častí, ktorými sú rezistory natrvalo zapojené do série,
- neistoty spôsobené odpormi spojovacích vodičov, ktorými sa rezistory zapájajú paralelne a sériovoparalelne,
- neistoty desiateho rezistora, ktorý sa neuplatňuje pri sériovoparalelnom zapojení rezistorov,
- neistoty spôsobené krátkodobou nestálosťou hodnôt rezistorov,
- neistoty spôsobené nedodržaním referenčných podmienok,
- neistoty hodnoty referenčného etalóna.

V období rokov 2000 až 2004 boli v laboratóriu el. odporu opakovane kontrolované rozhodujúce parametre kombinovaných prevodových dekád s cieľom potvrdiť neistoty dekádami odvodených hodnôt. Výsledky týchto meraní a nadväzne analýza neistôt týchto dekád boli použité pri celkovom zhodnotení tvorby DC stupnice odporu. Na ich základe boli vyčíslené relatívne štandardné neistoty odvodených desiatkových násobkov  $\Omega$  tak typu A, ako aj výsledné relatívne štandardné neistoty typu B. Tieto, dosiahnuté v období ostatných dvoch rokov pre DC odporovú stupnicu v oblasti stredných odporov, sú oproti stavu pri vyhlasovaní etalónov mierne znížené (pri hodnotách nad  $100 \Omega$ ). Je to spôsobené použitím nového meracieho systému – komparátora MI 6000 B. Tak pre hodnotu  $100 \text{ k}\Omega$  sa odhaduje zníženie celkovej štandardnej neistoty odvodenej hodnoty na úroveň okolo  $5 \times 10^{-7}$  a pre



rozsahu merania na hodnoty do  $10^{13}\Omega$  so súčasným zabezpečením nadväznosti na hodnotu  $1\text{ M}\Omega$  [4]. V rámci týchto prác bol v SMÚ postavený vysokoohmový mostík s rozsahom merania do  $10\text{T}\Omega$  a realizovaná zostava pracovných etalónov obsahujúca kombinovaný vysokoohmový etalón pre merania v rozsahu od  $10^9\Omega$  do  $10^{12}\Omega$ . Kombinovaný etalón v spojení s vysokoohmovým mostom umožňuje imitovať hodnoty odporu  $10\text{ G}\Omega$ ,  $100\text{ G}\Omega$  a  $1\text{T}\Omega$ . Využíva princíp transfigurácie hviezdy do trojuholníka a tým umožňuje imitovať hodnotu odporu ďaleko väčšiu ako je hodnota hociktorého z rezistorov hviezdy. Vysokoohmové dekády umožňujú pri sériovom zapojení jednotlivých rezistorov prejsť na desaťnásobne vyššiu hodnotu. Vlastný vysokoohmový most okrem priameho merania pri pomere porovnávaných odporov rovnom 1:1 môže byť použitý aj na merania v pomere odporov 10:1. Pri pomere 10:1 dochádza k čiastočnej strate citlivosti mosta a zvýšeniu chýb mosta s ohľadom na iné vplyvy izolačných odporov porovnávaných odporov. Výrazné zlepšenie v tejto oblasti sa dosiahlo použitím vysokoohmového odporového komparátora, ktorý výrazne zlepšuje presnosť v rozsahu meraní do  $1\text{ G}\Omega$ , a zároveň zlepšuje situáciu aj pri meraniach až do hodnoty  $1\text{ T}\Omega$ . Podrobnosti analyzujúce niektoré špecifiká meraní v tejto oblasti sú rozpracované a budú spracované do konca roka 2004. Pritom sa počíta so zohľadnením výsledkov porovnávacích meraní, ktoré by mali potvrdiť spresnenie týchto meraní v SMU.

Vychádzajúc z uvedeného boli v rokoch 2000 až 2004 analyzované neistoty odvodzovaných hodnôt DC stupnice odporu v oblasti vysokoohmových meraní. Pritom sa vychádzalo z neistoty hodnoty  $1\text{ M}\Omega$ , od ktorej pomocou kombinovanej prevodovej dekády  $10 \times 10^7\Omega$  - jej sériovoparalelným resp sériovým zapojením rezistorov, sú odvodené hodnoty  $10\text{ M}\Omega$  a  $100\text{ M}\Omega$ . Následne pomocou kombinovanej prevodovej dekády  $10 \times 10^8\Omega$  je odvodená hodnota  $1\text{ G}\Omega$  a kontrolovaná hodnota  $100\text{ M}\Omega$ . Pomocou kombinovanej prevodovej dekády  $10 \times 10^9\Omega$  sú odvodzované hodnoty  $10\text{ G}\Omega$ ,  $100\text{ G}\Omega$ . Výsledky týchto meraní, na základe ktorých boli vyčíslené kombinované štandardné neistoty odvodených hodnôt v oblasti vysokoohmových odporov signalizujú zlepšenie stavu. Konečné hodnotenie sa uskutoční až po realizácii medzinárodného porovnávacieho merania, ktorého realizácia sa predpokladá v roku 2005.

#### **4. Prehľad výsledkov medzinárodných porovnaní.**

Základom kontroly v SMÚ uchováanej jednotky odporu a od nej odvodzovanej stupnice odporu sú medzinárodné porovnávacie merania. V prípade jednotky  $1\Omega$  a jej násobku  $10\text{ k}\Omega$  je to porovnanie s BIPM, ktoré momentálne prebieha. Predchádzajúce porovnanie s BIPM sa realizovalo v roku 1997. S ohľadom na skutočnosť, že v priebehu roka 2004 v plnej šírke prechádzame na novú základnú teplotu  $23\text{ }^\circ\text{C}$ , je toto porovnanie vhodné načasované. Etalóny ostatných hodnôt stupnice boli do roku 1990 porovnávané predovšetkým v ASMW Berlin resp. VNIIM Leningrad. V ostatnom období je orientácia SMÚ na vyspelé európske ústavy. Tak v roku 1998 sme sa v oblasti el. odporu zúčastnili porovnávacích meraní v rámci DUNAMET (Projekt D 9) s ČMI Praha (porovnanie etalónov nominálnej hodnoty  $1\Omega$  ústavov ČMI Praha, BEV Viedeň, OMH Budapešť a SMÚ) a v rámci projektu PRAQ III, ktorého pilotným metrologickým ústavom bol NMi Van Swinden Laboratorium, Delft (ktoré zahŕňovalo porovnanie etalónov nominálnych hodnôt  $10\Omega$  a  $10\text{ k}\Omega$  a zúčastnilo sa ho 13 metrologických ústavov strednej a východnej Európy). V priebehu rokov 1999 až 2000 sme sa zúčastnili EA medzinárodného porovnávania odporových rozsahov multimetra hodnôt  $10\Omega$ ,  $10\text{ k}\Omega$  a  $10\text{ M}\Omega$  organizovaného Servizio di taratura in Italia (pod patronátom Talianskeho metrologického ústavu – IEN).

Výsledky porovnaní v rámci DUNAMETu sú uvedené v tab. 16 podľa [47]. SMÚ sa týchto porovnaní zúčastnilo v období od 21. januára do 18. februára 1998. Pilotným

laboratóriom bol ČMI - OI Praha. Ďalšími účastníkmi porovnania boli BEV Viedeň a OMH Budapešť. Použitý cestovný etalón ČMI – OI Praha nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  v období uskutočnených porovnaní, medzi 15. januárom a 7. májom 1998, mal strednú hodnotu:

$$R_{23} = 0,999\,983\,77\ \Omega \pm 20 \times 10^{-8}\ \Omega (\pm 20\ \text{ppm}).$$

Neistota strednej hodnoty je uvedená vo forme rozšírenej neistoty (pri koeficiente rozšírenia  $k=2$ ), ktorá za predpokladu normálneho rozdelenia zodpovedá pravdepodobnosti približne 95 %.

Tab.16 Výsledky porovnaní etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  v rámci DUNAMET

Poradové číslo laborat.	$R_{23}$ (Hodnota pri 23 °C) $\pm U_{lab}$	Skúšobný prúd $I_{lab}$ (mA)	Teplota $t_{lab}$ (°C)	Rel. vlhkosť (%)	Atmosfer. tlak (hPa)	$E_n$
1	0,999 983 6, $\Omega \pm 1,9$ ppm	50	23 $\pm$ 0,01	45 $\pm$ 10	984,5 ÷ 1002,2	0,07
2	0,999 982 8 $\Omega \pm 0,5$ ppm	100	23 $\pm$ 0,01		981 $\pm$ 10	1,80
3	0,999 983 88 $\Omega \pm 0,25$ ppm	100	23 $\pm$ 0,05	40 $\pm$ 5	1005 $\pm$ 6	0,34

**Odchýlka  $E_n$** , ktorá charakterizuje odchýlku hodnôt porovnávaných laboratórií vyjadrenú vo vzťahu k laboratóriami uvádzaným neistotám, je definovaná nasledujúcim vzťahom:

$$E_n = \frac{|R_{lab} - R_{ref}|}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}},$$

- $R_{lab}$  je hodnota nameraná laboratóriom participujúcim v porovnávaní,
- $R_{ref}$  je referenčná hodnota etalónu stanovená pilotným laboratóriom ČMI – OI Praha,
- $U_{lab}$  je rozšírená neistota participujúceho laboratória,
- $U_{ref}$  je rozšírená neistota pilotného laboratória ČMI – OI Praha.

SMÚ v tab. 16 je uvádzané ako laboratórium č. 3. Celkové hodnotenie tohto porovnania SMÚ s ČMI, uvádzané v záverečnej správe ako hodnotenie laboratória 3, znie: „Hodnota  $E_n$  je signifikantne menšia ako 1, to ukazuje dobrú zhodu s referenčnou hodnotou. Vypočítaná celková neistota je najnižšia z laboratórií participujúcich na porovnávaní“.

Takéto hodnotenie jasne potvrdzuje vysokú úroveň skupinového etalóna elektrického odporu nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  v SMÚ a zároveň potvrdzuje aj neistoty tohto etalóna, ktoré na základe v SMÚ uskutočneného rozboru sú uvedené v tab11.

Výsledky porovnaní etalónov elektrického odporu hodnôt 10  $\Omega$  a 10 k $\Omega$  v rámci PRAQ III, ktorých pilotným laboratóriom bolo NMI – Van Swinden Laboratorium, Delft, sú uvedené v tab. 17 (výber z „Final Report“ [12]). SMÚ sa týchto porovnaní zúčastnilo v dňoch 18. a 19. marca 1998. SMÚ sa zúčastnilo porovnaní v rámci prvej skupiny porovnaní ako laboratórium č. 4. Vyhodnotenie odchýliek hodnôt etalónov a  $E_n$  charakterizujúce uvedené odchýlky hodnôt vo vzťahu k laboratóriami udávanými rozšírenými neistotami, bolo založené na opakovaných porovnaní referenčných etalónov v pilotnom laboratóriu. Tak referenčné etalóny hodnôt 10  $\Omega$  a 10 k $\Omega$  boli pred porovnávaním v SMÚ merané v pilotnom laboratóriu a po porovnaní v SMÚ a v nasledujúcom v porovnaní participujúcom laboratóriu - lab. č. 5 opätovne nadviazané na hodnoty pilotného laboratória (NMI – NL). Podrobnosti o porovnaní vo všetkých participujúcich laboratóriách, ktorých bolo 13, sú v Záverečnej správe z porovnania [48]. V tabuľke kvôli zjednodušeniu uvádzame len výsledky priamo súvisiace s porovnaním etalónov v SMÚ.

Tab.17 Výsledky porovnaní etalónov hodnoty 10 Ω a 10 kΩ v rámci PRAQ III

Poradové číslo laborat.	Dátum	$R_{lab} - 10 \Omega$ $\mu\Omega \pm U_{lab}$	Skúšobný prúd $I_{lab}$ (mA)	$R_{lab} - 10 k\Omega$ $m\Omega \pm U_{lab}$	Skúšobný prúd $I_{lab}$ (mA)	Teplota $t_{lab}$ (°C)	Relatívna vlhkosť (%)
NMi- NL	14. marca	- 24 ± 5	10	- 20 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	43 ± 5
4	19. marca	- 25 ± 5	30	- 16 ± 9	1	23,0 ± 0,5	31 ± 3
5	25. marca	- 20 ± 20	10	- 32 ± 20	1	24 ± 1	30 ± 10
NMi- NL	5. apríla	- 24 ± 5	10	- 19 ± 5	0,3	22,4 ± 0,5	42 ± 5

Ako je z tabuľky vidieť v SMÚ zistená hodnoty referenčných etalónov po nadviazaní na etalóny SMÚ, v prípade hodnoty 10 Ω má odchýlku - 0,1 ppm t.j. - 1 μΩ a v prípade 10 kΩ - 0,4 ppm teda - 4 mΩ. To jasne dokumentuje veľmi dobrú zhodu medzi hodnotami zistenými v SMÚ a udávanými NMi. Jasne sa to odzrkadlilo aj pri celkovom hodnotení porovnania v SMÚ kde pre hodnotenie laboratória č. 4 teda SMÚ je uvádzané: „Merania odporu sú realizované s využitím etalónových odporov termostatizovaných v olejovom termostate.  $E_n$  hodnoty pre obidva porovnávané rezistory 10 Ω a 10 kΩ sú blízke nule, čo ukazuje na veľmi dobrú zhodu s referenčnými hodnotami.“

Výsledky porovnaní odporových rozsahov číslicových multimetrov pri meraní etalónov elektrického odporu hodnôt 10 Ω, 10 kΩ a 10 kΩ, ktorých pilotným laboratóriom boli taliansky a francúzsky metrologický ústav IEN a LCIE, sú uvedené v tab. 18 (výber z „Final Report“ [49]). SMÚ sa týchto porovnaní zúčastnilo v dňoch 1. až 20. októbra 1999. Zúčastnilo sa porovnaní organizovaných IEN pod značkou SK-1. Vyhodnotenie odchýliek hodnôt etalónov a  $E_n$  charakterizujúce uvedené odchýlky hodnôt vo vzťahu k laboratóriami udávanými rozšírenými neistotami, bolo založené na opakovaných porovnaníach multimetra v pilotnom laboratóriu. Podrobnosti o porovnaníach vo všetkých participujúcich laboratóriách, ktorých bolo okolo 60, sú v Záverečnej správe z porovnania [16]. V tabuľke kvôli zjednodušeniu uvádzame len výsledky SMU.

Tab.18 Výsledky meraní etalónov odporu hodnôt 10 Ω, 10 kΩ a 10 MΩ na referenčnom multimetri.

Merací bod	Referenčná hodnota		Výsledky laboratória (SMU)		
	chyba ( $10^{-6}$ )	Neistota ( $10^{-6}$ )	chyba ( $10^{-6}$ )	Neistota ( $10^{-6}$ )	$E_n$
10 Ω	35,7	3,3	36,2	1,6	0,13
10 kΩ	28,3	2,2	25,9	2,2	- 0,76
10 MΩ	- 182	14	- 167	42	0,34

S ohľadom na skutočnosť, že kontrolovaný multimeter v priebehu porovnaní vykazoval určité, dosť značné fluktuácie hodnôt sú dosiahnuté výsledky v rámci očakávania a potvrdzujú primeranú zhodu meraní s pilotným, laboratóriom.

V roku 2005 až 2006 sa uskutočnilo porovnávacie meranie vysokých odporov 10 MΩ a 1 GΩ - v rámci EUROMET.EM-K2 a v roku 2009 bolo realizované porovnanie vysokých odporov 1 TΩ a 100 TΩ - v rámci EUROMET.EM-S32.

Rozhodujúcim pre národný etalón odporu a pre činnosti v laboratóriu odporu je nadviazanie cestovných etalónov odporu na BIPM, ktoré je v súčasnosti vo finále. Jeho výsledky budú rozhodujúce pre potvrdenie trendu hodnoty  $1\ \Omega$  (skupinového etalóna), ako aj hodnoty  $10\ \text{k}\Omega$ . Práce spojené s potvrdením stálosti hodnôt cestovných etalónov po dovezení z BIPM prinesených hodnôt si vyžaduje prácu približne 3 mesiace. (konečné vyhodnotenie bude cca február 2011.) Bude to ako sa predpokladá oporný bod, ktorý v plnej šírke s primeranou neistotou potvrdí neistoty v laboratóriu uchovávanej jednotky, jej trend a súčasne aj neistoty v laboratóriu odvodzovanej stupnice odporu.

## **5. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE elektrického odporu**

### **Umiestnenie NE elektrického odporu:**

NE el. odporu je umiestnený v Slovenskom metrologickom ústave, v Bratislave, Centre elektriny 240, v laboratóriu elektrického odporu, v objekte H, laboratória č. 149, 153 a 255.

### **Osoby zodpovedné za NE elektrického odporu:**

Ing. Štefan Gašparík – zodpovedá za technický stav NE elektrického odporu, zabezpečuje a realizuje rozvoj jeho prístrojového vybavenia, realizuje práce súvisiace s uchovávaním jednotky elektrického odporu, jej nadväzovaním na BIM a odvodzovaním stupnice elektrického odporu v celom zabezpečovanom rozsahu pre meranie jednosmerným a striedavým elektrickým prúdom.

Vykonáva justáž a kalibrácie etalónových zariadení a kontroluje metrologické parametre meračdiel, ktoré sú súčasťou zostavy NE elektrického odporu.

Ing. Štefan Gašparík – zodpovedá za realizáciu stupnice v oblasti vysokoohmových odporov v rozsahu od  $1\ \text{M}\Omega$  do  $100\ \text{T}\Omega$ . Vykonáva meranie ovplyvňujúcich veličín. Spolupracuje pri rozvoji prístrojového vybavenia a odvodzovaní stupnice v celom rozsahu hodnôt. Vykonáva práce súvisiace s odovzdávaním jednotky a stupnice elektrického odporu na meradlá nižších rádo.

Ing. Rudolf Starovský – podľa potreby spolupracuje na činnostiach súvisiacich s uchovávaním jednotky a stupnice elektrického odporu. Vykonáva práce súvisiace s odovzdávaním jednotky a stupnice elektrického odporu na jednoduchšie meradlá nižších rádo v rozsahu stredných a veľkých odporov. Pri zložitejších meradlách pracuje pod vedením niektorého zodpovedného pracovníka laboratória.

Ing. Juraj Dressler – podľa potreby spolupracuje na činnostiach súvisiacich s uchovávaním jednotky a stupnice elektrického odporu. Po jednoročnom zaškolení už vykonáva práce súvisiace s odovzdávaním jednotky a stupnice elektrického odporu na jednoduchšie meradlá nižších rádo v rozsahu stredných a veľkých odporov. Pri zložitejších meradlách pracuje pod vedením niektorého zodpovedného pracovníka laboratória.

## **6. Zoznam publikácií a dokumentácie súvisiacej s NE elektrického odporu**

### **Dokumentácia o NE elektrického odporu:**

Správa č. 3034, Československý štátny etalón elektrického odporu. Bratislava, 1980.  
Súhrnná správa o etalóne : Slovenský národný etalón elektrického odporu. Bratislava, 1997.  
Správa o výsledkoch periodickej kontroly a vyhodnotenie metrologických a technických parametrov etalóna. Bratislava, 1999.

## Publikácie a správy o NE elektrického odporu:

- [1] Harich, L.: Slovenský národný etalón elektrického odporu. Súhrnná správa o etalóne. Bratislava, 1997.
- [2] Harich, L.: Československý štátny etalón elektrického odporu. Správa č. 3034. ČSMÚ, Bratislava, 1980.
- [3] Harich, L.: Primary Standards of Electrical Resistance. J. Electrical Engineering, 46, (1995), No. 6, 223 – 225.
- [4] Harich, L. a kol.: Výskum metód a zariadení na metrologické zabezpečenie jednotky elektrického odporu, jej dielov a násobkov a rozšírenie rozsahu do vysokoohmovej oblasti. Správa č. 1186, úlohy č. R 2/20-86. ČSMÚ, Bratislava, 1986.
- [5] Harich, L. a kol.: Nové princípy a metódy v metrológii elektrického odporu a elektrickej kapacity. Čiastková správa č. 1127 úlohy výskumu III-7-4/04. Bratislava, 1982.
- [6] Harich, L. a kol.: Meranie veľkých odporov. Záverečná správa č. 1018 vedeckovýskumnej úlohy V 75-32/73-75. ČSMÚ. Bratislava, 1975.
- [7] Vrabček, P., Novák, J.: Primárny kvantový etalón elektrického odporu v SMÚ. Metrológia a skúšobníctvo. 1/2001, č. 1, s. 10-14.
- [8] Harich, L., Lifka, E.: Realization of the unit of electrical resistance and its decadic multiplies at ČSMÚ. INSYMET'90. Bratislava, 1990.
- [9] Harich, L., Progner, V.: Primárny skupinový etalón elektrického odporu. Československá standardizace, 1981, č. 2, s. 66 – 72.
- [10] Harich, L.: Národný etalón elektrického odporu. Časopis pre elektrotechniku a energetiku. 1/2004, č. 1, s. 14 – 16.
- [11] Harich, L.: Rozbor parametrov primárneho skupinového etalónu elektrického odporu. Čiastková správa č. 1066. Bratislava. ČSMÚ. 1978.
- [12] Harich, L.: Výskum metód a zariadení na metrologické zabezpečenie jednotky elektrického odporu, jej dielov a násobkov a rozšírenie rozsahu do vysokoohmovej oblasti. Správa pre záverečnú oponentúru č. 1186. Bratislava. ČSMÚ. 1989.
- [13] Harich, L., Progner, V.: Metrologické zabezpečenie primárnej etalonáže elektrického odporu a elektrickej kapacity. Správa štátnej štandardizácie diel ŠŠ 21 č. 2.1/214-84.
- [14] Kneppo, I., Harich, L.: Kvantové etalóny jednotiek elektrických veličín, Metrológia a skúšobníctvo. 1996, č. 3, s. 11 – 13.
- [15] Ševčík, K., Grňo, L., Harich, L.: Reprezentácia ohmu založená na kvantovom Hallovom jave. Československá standardizace, 15 (1990), č. 6, str. 294-300.
- [16] Harich, L.: Metodika merania a vyhodnotenia skupinových etalónov. Vypracované na základe tématického úkolu č. 22/81. Tesla Brno. Bratislava, 1981.
- [17] Artbauer, O., Harich, L.: Rozbor parametrov primárneho skupinového etalónu elektrického odporu. Čiastková správa č. 1066 vedeckovýskumnej úlohy V 113-32/76/80. Bratislava. ČSMÚ. 1978.
- [18] Harich, L.: Analýza stavu štátneho skupinového etalónu elektrického odporu a vzájomné naviazanie jeho členov. ČSMÚ. Bratislava. 1972.
- [19] Artbauer, O.: Spracovanie merania skupinového etalónu elektrického odporu. Správa. ČSMÚ. Bratislava. 1973.
- [20] Boháček, J.: Odporové etalóny s vypočítateľnými kmitočtovými závislostmi. Podklady pro výpočet. Správa vypracovaná pre ČSMÚ. Praha. 1979.
- [21] Harich, L.: Základné meranie elektrického odporu. Rozbor merania elektrickej kapacity a odporu. Časť II. Záverečná správa č. 1086. ČSMÚ. Bratislava. 1980.
- [22] Benda, O.: Kvantový Hallov jav a jeho význam pre metrológiu elektrického odporu. Metrológia a skúšobníctvo. 6/97, 1997, s. 2-6.
- [23] Harich, L. A kol.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov elektrického odporu a kapacity. Správa pre oponentúru riešenia úlohy 200 081. SMÚ, Bratislava, december 2000.
- [24] Harich, L. A kol.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov elektrického odporu a kapacity. Správa pre oponentúru riešenia úlohy 200 081. SMÚ, Bratislava, december 2001.
- [25] Harich, L. A kol.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov elektrického odporu a kapacity. Správa pre oponentúru riešenia úlohy 240 081. SMÚ, Bratislava, december 2002.



- [26] Harich, L. A kol.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov elektrického odporu a kapacity. Správa pre oponentúru riešenia úlohy 240 081. SMÚ, Bratislava, december 2003.
- [27] Harich, L.: Výskum metód zariadení na metrologické zabezpečenie elektrického odporu, jej dielov a násobkov a rozšírenie rozsahu do vysokoohmovej oblasti. Spoluriešiteľ Gašparík, Š. ČSMÚ Bratislava 1989
- [28] Harich, L. Gašparík, Š.: Elektrický odpor. Časť 1 Schéma nadväznosti elektrického odporu. Časť 2 Vyjadrovanie neistôt pri meraní elektrického odporu. Zborník: Kneppo, I. A kol. Metrologické zabezpečenie etalónáže a meranie elektrických veličín. SMS pri SMÚ Bratislava 1993
- [29] Gašparík, Š.: Metódy kalibrácie meradiel a výpočet neistôt merania v oblasti elektrického odporu. Metrológia elektrických veličín a kalibrácia príslušných meradiel [Akreditovaný kurz MŠ SR], Bratislava VS SMU, jún 2003.
- [30] Harich, L., Gašparík, Š.: Základy metrológie elektrického odporu. Bratislava 2003. Skriptá. SMU Bratislava.

### **Publikácie, ktoré boli využité pri výskume a vývoji NE elektrického odporu:**

- [31] Mc.Martin, M.P., Kusters, N.,L.: A Direct Current Comparator Ratio Bridge for Four-terminal Resistance Measurement. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., Vol. IM-15, Dec. 1966, pp. 212-220.
- [32] Basu, S.,K., Kusters, N.,L.: Comparison of Standard Resistors by the DC Current Comparator. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., Vol. IM-14, Sept. 1963, pp. 149-156.
- [33] Klitzing, K., V., Dorda, G., Pepper, M.: New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance. Phys. Rev. Lett., 1980, Vol. 45, No. 6, pp. 494-497.
- [34] Klitzing, K., V., Ebert, G.: Application of the Quantum Hall Effect in Metrology. Metrologia, 1985, Vol. 21, No. 1, pp. 11-18.
- [35] Page, Ch., H.: Errors in the Series-parallel build-up of four terminal Resistors. Journal of Research of the NBS, C, Vol. 69 C, No. 3, July-Sept. 1965, pp. 181-189.
- [36] Riley, J., C.: The Accuracy of Series and Parallel Connections of Four-terminal Resistors. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., Vol. IM-16, No. 3, Sept. 1967, pp. 258-268.
- [37] Gorini, I.: Errors in the Parallel Connection of 100:1 Series Parallel Buildup of Four-terminal Resistors. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., Vol. IM-21, Aug. 1972, pp. 186-197.
- [38] Page, Ch., H.: Tetrahedral Junction Errors Contribution to a Series-parallel four terminal Resistors. IEEE Trans. on Instrum. and Meas., Vol. IM 23, Jan. 1974, pp. 5-8.
- [39] Cutkosky, R., P.: Evaluation of the NBS Unit of Resistance based on a Computable Capacitor. Journal Research NBS. Vol. 69 A. 1961, pp. 147-158.
- [40] Gibbings, D., L., H.: An alternating Analogue of the Kelvin double Bridge. Proc. IEE, 1962, 109 C, pp. 307-316.
- [41] Hill, J., J., Miller, A., P.: An AC double Bridge with Inductively coupled Ratio Arms for Precision Platinum Resistance Thermometry. Proc. IEE, 1963, 110, pp. 153-155.
- [42] Hague, B., Ford, T., E.: Alternating Current Bridge Methods. Great Britain. Pitman Press. 1971.
- [43] Hill, J., J.: Calibration of d.c. Resistance Standards and Voltage Ratio Boxes by an a.c. Method. Proc. IEE, Vol. 112, No. 1, 1965, pp. 211-217.
- [44] Arnold, A., H., M.: Alternating – current Resistance Standards. Proc. IEE, Vol. 100, 1953, pp. 319-328.
- [45] Wilkins, B., A., Swan, M., J.: Resistors having a calculable Performance with Frequency. Proc. IEE. Vol. 116. No. 2. February 1969, pp. 318-324.
- [46] Koller, H.: Präzisionswiderstände mit berechenbaren Frequenzeinfluss. Elektrie. 29, 1975, str. 612-615.
- [47] Graetsch, V.: Präzisionswiderstände für Gleich und Wechselstrom. PTB Mitteilungen 90. 1/80, str. 26-33.
- [48] Boháček, J.: Kmitočtové závislosti odporových etalónů. Československá standardizace. 1979, č. 7, str. 274-277.
- [49] Boháček, J.: Odporové etalóny s vypočítateľnou kmitočtovou závislosťou. Měrová technika, 1974, č. 4, str. 56-58.

[50] Boháček, J.: Měření elektrického odporu střídavým proudem. Měrová technika, 1974, č. 2, str. 33-35.

**Správy o výsledkoch medzinárodných porovnávacích meraní:**

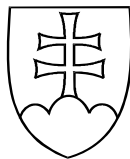
[51] Chrobok, P.: Final Report. Multilateral Comparison of DC Electrical Resistance. Dunamet. Project D 9. CMI, may 1998.

[52] Liefrink, F.: Final Report. Organisation of Measurement intercomparison. Electrical Measurements. NMI Van Swinden Laboratorium, April 1998.

[53] Final Report on EA Interlaboratory Comparison EL 27 Multiparameter using DMM. IEN, SIT, LCIE, Cofrac. November 2003.

## **7 Zoznam dokumentov súvisiacich s NE elektrického odporu**

- STN 35 6405 Miery elektrického odporu. Metódy skúšania pri overovaní a kalibrácii.
- STN 35 6411 Mostíky na meranie odporu pri jednosmernom prúde. Metódy skúšania pre úradné overovanie.
- TPM 2311-97 Miery elektrického odporu pre jednosmerný elektrický prúd. Technické požiadavky.
- TPM 2300-94 Schéma nadväznosti meradiel elektrického odporu.
- PP 05/240/00 PP na kalibráciu číslicových ohmmetrov a odporových rozsahov číslicových multimetrov. Verzia 2. 2002.
- PP 06/240/00 PP na kalibráciu odporových dekád pri jednosmernom elektrickom prúde. Verzia 2. 2002.
- PP 15/240/01 PP na kalibráciu mier elektrického odporu pri jednosmernom elektrickom prúde v oblasti malých a stredných hodnôt. Verzia 2. 2002.
- PP 16/220/01 PP na kalibráciu mier elektrického odporu pri jednosmernom elektrickom prúde v oblasti vysokoohmových hodnôt. Verzia 2. 2002.
- PP 23/240/01 PP na kalibráciu mier elektrického odporu pri striedavom elektrickom prúde. Verzia 1. 2002.



## CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU

č. 001/10, Revízia 2

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len "zákon") a na základe posúdenia Súhrnnej správy pre revíziu národného etalónu elektrického odporu č. 001/04 zo dňa 25. 11. 2010 potvrdzuje, že všetky podmienky ustanovené v § 1 ods. 1 vyhlášky Úradu pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky č. 210/2000 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov (ďalej len "vyhláška") na schválenie etalónu za národný etalón boli splnené.

**Názov etalónu:**

**ETALÓN ELEKTRICKÉHO ODPORU**

**Veličina a hodnota (stupnica hodnôt)  
jednotky reprodukovanej etalónom:**

**Jednotka 1 ohm ( $\Omega$ ), stupnica odporu pri js. el.  
prúde v rozsahu hodnôt od 0,1 m $\Omega$  do 10 T $\Omega$ ,  
stupnica odporu pri striedavom elektr. prúde  
pri frekvenciách od 80 Hz do 1,6 kHz**

**v rozsahu**

**hodnôt od 1  $\Omega$  do 10 k $\Omega$**

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

**Slovenský metrologický ústav,  
Karloveská 63, 842 55 Bratislava**

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Štefan Gašparík**

**Dátum schválenia revízie:**

**15. 12. 2010**

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávania etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v Súhrnnej správe pre revíziu národného etalónu elektrického odporu č. 001/10.

Osoba zodpovedná za etalón (vlastník etalónu) má povinnosť oznámiť Slovenskému metrologickému ústavu všetky úpravy, doplnenia a zmeny etalónu, ktoré môžu mať vplyv na jeho technické charakteristiky, metrologické charakteristiky alebo môžu ovplyvniť ustanovené podmienky uchovávania a používania etalónu.

Certifikát č. 001/04 Revízia 2, nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 001/02 zo dňa 29. 10. 2004.

V Bratislave, 25. 11. 2010

Prof. Ing. Rudolf Durný, DrSc.  
generálny riaditeľ

**Nadväznosť:** NE elektrického odporu a stupnica elektrického odporu sú prostredníctvom nadviazania na etalóny elektrického odporu BIPM nadviazané na kvantovej báze na základné fyzikálne konštanty  $h$  a  $e$ .

### Základné metrologické charakteristiky etalónu:

Etalón elektrického odporu má metrologické parametre zabezpečujúce nadviazanie referenčných a pracovných meradiel elektrického odporu pri jednosmernom a striedavom elektrickom prúde na medzinárodné etalóny odporu metódami, ktoré sú definované v Schéme nadväznosti meradiel elektrického odporu TPM 2300-94.

Skupinové etalóny elektrického odporu:

- základná skupina etalónov hodnoty  $1 \Omega$  (7 členná), pre jednosmerný prúd,
- náhradná skupina etalónov hodnoty  $1 \Omega$  (7 členná), pre jednosmerný prúd,
- základná skupina etalónov hodnoty  $10 \text{ k}\Omega$  (7 členná), pre jednosmerný prúd,
- skupina etalónov s vypočítateľnými frekvenčnými závislosťami.

Rozsah realizácie stupnice elektrického odporu:

- pri jednosmernom elektrickom prúde v rozsahu od  $0,1 \text{ m}\Omega$  do  $10 \text{ T}\Omega$ ,
- pri striedavom elektrickom prúde vo frekvenčnom rozsahu od  $80 \text{ Hz}$  do  $1,6 \text{ kHz}$  v rozsahu od  $1 \Omega$  do  $10 \text{ k}\Omega$ .

Sekundárne etalóny elektrického odporu:

Referenčné a pracovné etalóny elektrického odporu hodnôt pre jednosmerný prúd hodnôt od  $0,1 \Omega$  do  $10 \text{ T}\Omega$  a pre striedavý prúd pre frekvencie od  $80 \text{ Hz}$  do  $1600 \text{ Hz}$  hodnôt od  $1 \Omega$  do  $10 \text{ k}\Omega$ .

### Zostava etalónu:

1. Zostava zariadení pre realizáciu jednotky pri jednosmernom elektrickom prúde:

- Základná skupina etalónov  $1 \Omega$ , nasledujúcich výrobcov a výrobných čísiel:
  - a) Leeds & N, výr. č.: 1816013      b) Leeds & N, výr. č.: 1758739
  - c) Zavod izm.prib., 078572      d) Zavod izm.prib., 078564
  - e) Zavod izm.prib., 078567      d) Zavod izm.prib., 142956
  - f) Zavod izm.prib., 078582.
- Náhradná skupina etalónov  $1 \Omega$ , od firmy Zavod izm. priborov, nasledujúcich výrobných čísiel: 222039, 222312, 222266, 221976, 222321, 222290 a 222274.
- Cestovné - nadväzovacie etalóny hodnoty  $1 \Omega$ , nasledujúcich výrobcov a výr. č.: Zavod izm. prib., 144487, Zavod izm. prib., 222039, Leeds & N, 1859009.
- Jednosmerný prúdový most komparátor typu 9920 od firmy Guildline, výr.č.: 33651.
- Skupina pracovných etalónov od firmy Zavod izm. prib., nominálnej hodnoty  $1 \Omega$  nasledujúcich výr. č.: 078577, 221817, 222316, 222248, 222 295 a 144417.

2. Zostava zariadení pre realizáciu stupnice odporu pri jednosmernom elektrickom prúde:

- Základná skupina referenčných a cestovných etalónov hodnoty  $10 \text{ k}\Omega$ , nasledujúcich výrobcov a výrobných čísiel:
  - a) ESI, výr. č.: 48042      b) ESI, výr. č.: 648044
  - c) ESI, 707002      d) Leeds & N., 1755525
  - e) Zavod izm.prib., 117720      f) Zavod izm.prib., 148058
  - g) Zavod izm.prib., 148078.

- Jednosmerný prúdový most komparátor typu 6000B od firmy MI, výr.č.: 33651.
  - Vysokoohmový mostík, Inv. č.: III-04275,
  - Sériovoparalelné prevodové miery elektrického odporu slúžiace na tvorbu stupnice elektrického odporu, ESI a ZIP nasledujúcich výr. č.: 141020, 215008, 144003, 136004, 208002, 0554, 0558, 084, 05670.
  - skupiny etalónov a presné rezistorové dekády nominálnych hodnôt od  $10^{-4}$  do  $10^9 \Omega$ , slúžiacich ako referenčné a pracovné etalóny, nasledujúcich výr. č.: 02843, 0556, 068, 362, 140530, 140532, 056492, 056493, 055446, 049896, 134718, 1763642, 132456, 1864746, 1001785, 089829, 151883, 151890, 099050, 145569, 145776, 106478, 107746, 108774, 117717, 148060, 148056, 126423, 127931, 128827, 241, 239, 2100, 297, 150, 151, 68 a 69.
3. Zostava zariadení pre realizáciu stupnice pri striedavom elektrickom prúde:
- skupina etalónov elektrického odporu s vypočítanými frekvenčnými závislosťami nominálnych hodnôt  $10 \Omega$ ,  $100 \Omega$  a  $1000 \Omega$ , Inv. č.: III – 04308/1, /2, /3 a /4,
  - skupina etalónov elektrického odporu pre meranie striedavým prúdom od firmy Tinsley, nominálnych hodnôt  $1 \Omega$ ,  $10 \Omega$ ,  $100 \Omega$ ,  $1 \text{ k}\Omega$  a  $10 \text{ k}\Omega$ , nasledujúcich výr. č.: 230020, 230021, 230049, 230050, 230079, 230084, 230091, 230092, 225450 a 225451.
  - meracie zariadenie na meranie odporu striedavým elektrickým prúdom – dvojitý mostík zostavený z indukčných deličov (hlavný indukčný delič GR typ 1493 A, Inv. č.: III-02787, pomocný delič, výr. č.: 76021) a ďalších pomocných zariadení (kapacitné dekády, zdroj, zosilňovač a nulový indikátor).

**Prehľad odovzdávania hodnoty jednotky a stupnice elektrického odporu na ostatné meradlá:**

<i>Veličina</i>	<i>parameter</i>	<i>minimálna. – maxim. hodnota</i>	<i>relatívna rozšírená neistota (k=2)</i>	<i>metóda</i>
<b>Elektrický odpor pri jednosmernom elektrickom prúde</b>				
Jednotka $\Omega$	23 °C (20 °C)	1 $\Omega$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	B
Stupnica	23 °C (20 °C)	0,1 m $\Omega$ až 1 $\Omega$	od $5,0 \cdot 10^{-6}$ do $8,0 \cdot 10^{-7}$	A, B, C, D
Stupnica	23 °C (20 °C)	1 $\Omega$ až 10 k $\Omega$	od $2,0 \cdot 10^{-6}$ do $8,0 \cdot 10^{-7}$	A, B, C, D
Stupnica	23 °C (20 °C)	10 k $\Omega$ až 1 M $\Omega$	od $5,0 \cdot 10^{-6}$ do $2,0 \cdot 10^{-6}$	A, D,
Stupnica	23 °C	1 M $\Omega$ až 1 G $\Omega$	od $8,0 \cdot 10^{-5}$ do $5,0 \cdot 10^{-6}$	D, E
Stupnica	23 °C	1 G $\Omega$ až 10 T $\Omega$	od $5,0 \cdot 10^{-3}$ do $8,0 \cdot 10^{-5}$	D, E
<b>Elektrický odpor pri striedavom elektrickom prúde</b>				
Stupnica	23 °C (20 °C) 80 Hz až 1,6 kHz	1 $\Omega$ až 10 k $\Omega$	od $1,0 \cdot 10^{-5}$ do $1,0 \cdot 10^{-6}$	D, F

Metódy: A – priame meranie,

B – priame porovnanie pomocou komparátora,

C – pomerové merania pomocou pomerových ramien komparátora,

D – substitučná metóda merania

E – priame resp. pomerové merania na vysokohmovom moste,

F – priame resp. pomerové meranie striedavým prúdom na dvojitom mostíku.

### Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:

- B5-97-030,
- Projekt D 9 (v rámci DUNAMET),
- Nadviazanie na etalóny BIPM 2004.  
certifikáty BIPM: pre 1  $\Omega$  No. 82, 83, 84 z 26.10.2004,  
pre 10 k $\Omega$  No. 85 a 86 z 26.10.2004.
- Nadviazanie na etalóny BIPM 2010.  
certifikáty BIPM: pre 1  $\Omega$  No. 53, 54, 55 z 28.9.2010,  
pre 10 k $\Omega$  No. 51 a 52 z 28.9.2010.

### Miesto uchovávania a používania etalónu:

Slovenský metrologický ústav  
Karloveská 63, BRATISLAVA  
Laboratórium elektrického odporu  
miestnosti č. 149, 153 a 255, laboratórny  
objekt H

.....  
Ing. Štefan Gašparík  
osoba zodpovedná za etalón

.....  
Ing. Peter Vrabček, PhD.  
riaditeľ centra elektriny

PRÍLOHA 2.  
PRAVIDLÁ POUŽÍVANIA A UCHOVÁVANIA NÁRODNÉHO ETALÓNA  
ELEKTRICKÉHO ODPORU

15.10.2010

## 1. VŠEOBECNE

*Cieľom týchto pravidiel je stanoviť zásady uchovávania a používania národného etalóna elektrického odporu, ktoré majú vytvárať základ na zabezpečenie jednotnosti a správnosti merania elektrického odporu v SR. Cieľom činnosti laboratória elektriny v oblasti etalóna elektrického odporu je vytvorenie podmienok na dlhodobé plnenie funkcie tohto etalóna a zabezpečenie, aby všetky činnosti spojené s realizáciou jednotky elektrického odporu a jej stupnice, používaním a prenosom reprodukováných hodnôt na referenčné a pracovné etalóny boli vykonávané v súlade so všeobecnými kritériami na činnosť laboratória elektriny podľa medzinárodných odporúčaní.*

Za organizačnú činnosť laboratória v súlade s týmito zásadami, implementáciu základných prvkov systému kvality a udržiavanie schváleného systému tak, aby bola zaručená jeho stála vhodnosť a účinnosť je zodpovedný pracovník za NE el. odporu.

## 2. ETALÓNY

### 2.1 Nadväznosť na základné jednotky SI a prírodné konštanty

2.1.1 *Uchovávanie a reprodukovanie jednotky elektrického odporu v SMÚ je zabezpečené základnou skupinou etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  (obsahujúcej 7 členov). Jej správnosť je zaistená jej pravidelnými nadviazaniami na hodnotu ohmu v BIPM, ktorá je reprezentovaná taktiež skupinovým etalónom a realizácia jej reprezentatívnej hodnoty je zabezpečená tak pomocou absolútneho merania – odvođením z hodnoty kondenzátora realizovaného na základe Thomsonovej-Lampardovej teóremy, ako aj na báze kvantového Hallovoho odporu odvođením zo základných fyzikálnych konštánt  $h$  (Plankova konštanta) a  $e$  (elementárny elektrický náboj), alebo ich kombinácie  $h/i^2$  čo je von Klitzingova konštanta. Nadviazanie na BIPM sa uskutočňuje v intervaloch približne 5 rokov.*

2.1.2 *Pri uchovávaní a realizácii jednotky elektrického odporu sa okrem v bode 2.1.1 uvedených etalónov používa jednosmerný prúdový komparátor, náhradná sedemčlenná skupina etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ , trojčlenná skupina nadväzovacích etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  a skupina referenčných etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$  slúžiaca na prenos jednotky elektrického odporu na pracovné etalóny nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ .*

Základný skupinový etalón je po nadviazaní etalónov v BIPM (nadväzovacích) nadviazaný na hodnotu prinesenú z BIPM v rámci minimálne štyroch opakovaných sérií meraní zahrňujúcich vzájomné porovnanie všetkých členov skupiny (10 ks). V medziobdobiach medzi nadviazaniami na BIPM sú všetky členy skupiny každoročne nadviazané na strednú hodnotu skupiny, korigovanú s ohľadom na jej ročný trend, v rámci troch opakovaných sérií meraní.

Nadväzovacie etalóny a náhradná skupina etalónov sú každoročne nadväzované na vybraté členy základnej skupiny (minimálne na 2) v rámci minimálne dvoch sérií úplných porovnaní všetkých členov.

2.1.3 Program vzájomných porovnávacích meraní skupinových etalónov, kalibrácií etalónov a zariadení tvoriacich stupnicu pri DC aj pri AC, ako aj kalibrácií etalónových meracích zariadení je v tab. 1. Tieto porovnávacie merania, kalibrácie etalónov a etalónových zariadení, ako aj merania na realizáciu stupnice odporu pri DC, prevod z DC na AC a realizácia stupnice odporu pri AC sa vykonáva podľa postupov zahrnutých v literatúre uvádzanej v správe o etalóne. V týchto postupoch a programoch sú definované zariadenia, uvedený podrobný program porovnávaní a kalibrácií, ak je potrebné aj justáže, a navrhované intervaly. V tab. 1 je uvedený navrhovaný časový rozvrh vzájomných porovnávaní a kalibrácií, či justáže spojenej s kalibráciou na nasledujúce štyri roky.

Tab.1 Program porovnávacích meraní a kalibrácií etalónov a etalónových zariadení

Porad. Číslo	Názov etalónovej zostavy alebo etalónového zariadenia	Popis činnosti	Navrhovaný termín porovnania (kalibrácie)	
1	Jednosmerný prúdový komparátor GUILDLINE 9920	Justáž s následnou samokalibráciou	02 a 09/2006 03 a 10/2007	02 a 09/2008 4/2010 a 2/2011
2	Základná skupina etalónov 1 $\Omega$ (7 ks)	Vzájomné porovnanie. Vyhodnotenie na strednú hodnotu	03 a 10/2007 03 a 10/2008	04 a 11/2009 03 a 10/2010
3	Náhradná skupina etalónov 1 $\Omega$ (7 ks) 3 ks základnej skupiny, 3 ks nadväzovacie etalóny	Vzájomné porovnanie. Vyhodnotenie na strednú hodnotu 3 členov základnej skupiny	04 a 11/2008 04 a 11/2009	05 a 12/2010 04 a 10/2011
4	4 ks základnej skupiny 3 ks nadväzovacie etalóny	Vzájomné porovnanie. Príprava na porovnávanie s BIPM	11/2007 11/2008	05/2009 5/2010
5	Jednosmerný prúdový komparátor GUILDLINE 9920	Justáž s následnou samokalibráciou pre pomerové merania	04/2009	05/2010
6	Referenčné etalóny hodnôt 1 $\Omega$	Porovnanie na 3 členy náhradnej skupiny	04/2009	05/2010
7	Referenčné etalóny hodnôt 0,1 ; 0,01; 0,001; 0,0001 $\Omega$ ; (12 ks)	Pomerové merania – odvodenie od hodnoty 1 $\Omega$	04/2009	05/2010
8	Referenčné etalóny hodnôt 10 ; 100 $\Omega$ ; (6 ks)	Pomerové merania – odvodenie od hodnoty 1 $\Omega$	04/2009	05/2010
9	Wheatstoneov most TINSLEY 5577A	Kalibrácia použitím substitučnej metódy	04/2007	05/2010
10	Hammonova miera odporu 12x10 $\Omega$	Analýza chýb a kalibrácia	05/2007	06/2009
11	Referenčné etalóny hodnôt 10 ; 100 $\Omega$ ; (6 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 1 $\Omega$	05/2007	06/2009
12	Hammonova miera odporu 12x1 k $\Omega$	Analýza chýb a kalibrácia	05/2007	06/2009
13	Referenčné etalóny hodnôt 1 k ; 10k $\Omega$ ; (6 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 100 $\Omega$	05/2007	06/2009
14	Skupinový etalón 10 k $\Omega$ (7 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 100 $\Omega$	06 a 10/2007 06 a 10/2008	06 a 10/2009 06 a 10/2010
15	Hammonova miera odporu 12x10 k $\Omega$	Analýza chýb a kalibrácia	06/2007	06/2009
16	Referenčné etalóny hodnôt 10 k ; 100k $\Omega$ ; (6 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 1 k $\Omega$	06/2007	06/2009
17	Hammonova miera odporu 12x100 k $\Omega$	Analýza chýb a kalibrácia	09/2007	09/2009
18	Referenčné etalóny hodnôt 100 k ; 1M $\Omega$ ; (6 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 10 k $\Omega$	09/2007	09/2009
19	Hammonova miera odporu 12x10 M $\Omega$	Analýza chýb a kalibrácia	09/2007	09/2009
20	Referenčné etalóny hodnôt 10 M ; 100M $\Omega$ ; (6 ks)	Substitučné merania – odvodenie od hodnoty 1 M $\Omega$	09/2007	09/2009
21	Presná odporová dekáda ESI 1 $\Omega$ až 1,2 M $\Omega$	Porovnávacie meranie kombinované so substitúciou	06/2007	06/2009
22	Kalibrácia prvkov vysokoohmového Mostíka	Kalibrácia použitím substitučnej metódy	09/2007	09/2009



23	Kombinovaná miera odporu 10x100MΩ	Analýza chýb a kalibrácia	10/2007	10/2009
24	Odporová dekáda 10x1 GΩ	Analýza chýb a kalibrácia	11/2007	11/2009
25	Referenčné etalóny hodnôt 1 GM ; 10GΩ, 100 GΩ; 1 TΩ, 10 TΩ	Pomerové merania – odvodenie od hodnoty 100 MΩ	11/2007	11/2009
26	Odporová dekáda 10x10 GΩ	Kalibrácia	11/2007	11/2009
27	Kalibrácia prvkov striedavého mosta (induktívne deliče, kapacitné dekády, frekvenčný čítač)	Kalibrácia	03/2007	10/2009
28	Referenčné etalóny odporu pre AC EK 10, EK 100, EPS 100, EPS 1000	Kalibrácia pri DC Analýza parazitných vlastností	03/2007	10/2009
29	Pracovné etalóny odporu pre AC Hodnôt 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω	Kalibrácia na etalóny pol. 28 Pre f do 3 kHz	03/2007	10/2009
30	Pracovné etalóny odporu pre AC Hodnôt 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ	Kalibrácia na etalóny pol. 28 Pre f do 3 kHz	03/2007	10/2009

2.1.3 Podrobný *program kalibrácií pomocných etalónových zariadení* potrebných pre zabezpečenie činnosti na nasledujúce dva roky, s uvedeným pracoviska kde sa kalibrácia realizuje, je uvedený v tab. 2.

Tab.2 Program kalibrácií a kontrol pomocných etalónových zariadení na roky 2005 až 2008

Porad. Číslo	Názov pomocného etalónového alebo pomocného zariadenia	Popis činnosti (kto ju realizuje)	Navrhovaný termín kalibrácie	
1	Platinový teplomer TSPN 1	Kalibrácia / SMÚ, lab. teploty	05/2007	05/2009
2	Sklenené teplomery 1/100 °C – 9 ks (15 až 21; 18 až 24; 21 až 27) °C	Kalibrácia SMÚ, laboratórium teploty	02/2007	03/2009
3	Olejový termostat Guildline 9730 CR	Kontrola Interná v laboratóriu	02/2000	03/2001
4	Olejový termostat Haake typ DC 30	Kalibrácia Interná v laboratóriu	02/2000	03/2001
5	Termo-hygrometer TEMPTEC 3 ks	Kalibrácia /termometer-interná / hygrometer – SMÚ l.. vlhkosti	04/2000	05/2001

2.1.4 Podrobný *program kontrol pomocných zariadení*, ktoré sú navrhované realizovať v laboratóriu v nasledujúcich dvoch rokoch je uvedený v tab. 3.

Tab.3 Program kontrol pomocných zariadení na roky 2005 až 2008

Porad. Číslo	Názov pomocného zariadenia	Popis činnosti	Navrhovaný termín kontroly
1	Prúdový zdroj Hewlett Packard 6260A	Kontrola správnej činnosti	06/2011
2	Stabilizovaný zdroj sieťového napätia ST 1000.5	Kontrola správnej činnosti	10/2011
3	Stabilizovaný zdroj 0-30 V, 0-1 A BS 525	Kontrola správnej činnosti	11/2011
4	Stabilizovaný zdroj 0-30 V, 0-2,5 A Mesit YE 4T	Kontrola správnej činnosti	11/2011
5	Frekvenčný čítač TESLA BM 465	Kontrola správnej činnosti	2/2011
6	Stabilizovaný zdroj sieťového napätia ST 1000.5	Kontrola správnej činnosti	2/2011
7	Stabilizovaný zdroj 0-30 V, 0-1 A BS 554	Kontrola správnej činnosti	2/2011
8	Stabilizovaný zdroj 0-30 V, 0-2,5 A Mesit YE 4T	Kontrola správnej činnosti	2/2011
9	Osciloskop TESLA BS 554	Kontrola správnej činnosti	3/2011

10	RC Generátor ZOPAN PW 12	Kontrola správnej činnosti	3/2011
11	Výkonový zosilňovač a ďalšie prvky striedavého dvojitého mostíka	Kontrola správnej činnosti	6/2010

2.1.5 *Za dodržanie navrhovaného programu* porovnávaní skupinových etalónov, meraní, ktorými sa realizuje tvorba stupnice odporu pri DC, prenos hodnôt z DC na AC a meraní, ktorými sa realizuje tvorba stupnice pri AC, je zodpovedný garant etalónu. Za kalibráciu pomocných etalónových zariadení (tab. 2) a kontrolu pomocných zariadení (tab.3) je zodpovedný pracovník zodpovedný za NE, pričom tieto činnosti zabezpečuje aj v súčinnosti s inými laboratóriami a spolupracovníkmi.

2.1.6 Ak zabezpečenie činnosti národného etalónu vyvolá *potrebu mimoriadnej kalibrácie*, ktoréhokoľvek etalónového a pomocného zariadenia, za vytvorenie pravidiel a podmienok tejto mimoriadnej kalibrácie, resp. kontrolného merania či kontroly tohto zariadenia, je zodpovedný pracovník zodpovedný za etalón.

2.1.7 O každom porovnaní, každej kalibrácii, každom kontrolnom meraní, ako aj medzinárodnom porovnávanom meraní sa vypracováva *príslušný doklad* (výsledky porovnávacích meraní, kalibračný certifikát, interný protokol o kontrole, správa o medzinárodnom porovnaní). Všetky meracie protokoly, záznamy a pod. obsahujú všetky údaje a informácie o realizovanej činnosti. Ich súčasťou musia byť všetky relevantné údaje, ktoré musia byť tak podrobné, aby umožnili tieto merania či skúšky zopakovať za rovnakých podmienok, a tak umožnili zistiť faktory ovplyvňujúce výslednú neistotu pripísanú výsledkom. *Doklady*, tak o uvedených činnostiach, ako aj reprezentatívne výsledky, sú *archivované v laboratóriu č. 149 a č. 255* a tvoria súčasť národného etalónu. Tieto doklady sú umiestnené v príslušných laboratóriách v skriniach, k tomu určených. Za ich uchovávanie, zahrňujúce aj ich ochranu pred zneužitím je zodpovedný pracovník zodpovedný za NE.

2.1.8 V prípade poruchy niektorej časti etalónu, alebo zhoršeniu metrologických parametrov jeho niektorej časti, či určitého celku spracuje zodpovedný pracovník za NE alternatívnu možnosť náhrady s cieľom zabezpečiť správnu činnosť etalónu. Pretože rozsah etalónov a etalónových zariadení je veľmi široký bude pre takýto prípad vypracovaný *návrh zásad pre prípad porúch etalónových zariadení*. V prípade porúch etalónov sa volí postup náhrady vadných etalónov za náhradné. V takomto prípade sa vadný etalón nahradí za náhradný, o čom sa urobí záznam do dokumentácie etalónu aj s podrobným uvedením dôvodov. Pokiaľ náhradný etalón nie je k dispozícii, v prípade poruchy zníži sa počet členov v danej skupine etalónov. Za všetky činnosti súvisiace s možnými poruchami je zodpovedný garant etalónu.

## **2.2 Údržba zariadení (preventívna)**

2.2.1 Súčasťou starostlivosti o etalóny a etalónové zariadenia, ako aj o pomocné zariadenia je ich *preventívna údržba*. Údržbu vykonávajú pracovníci laboratória podľa pracovných postupov, ktoré boli vypracované v súčinnosti s výskumom na etalónoch a etalónových zariadeniach. Základom pre údržbu sú návody na používanie etalónových zariadení, ako aj odskúšané postupy pri odstraňovaní prechodových odporov prepínačov a zabezpečovania justáže niektorých etalónov a etalónových zariadení.

V prípadoch, ak údržba niektorého prístroja vyžaduje externého dodávateľa údržby, pri jeho výbere sa postupuje v zmysle schválených organizačných smerníc ústavu.

2.2.2 *Údržba etalónu a jeho častí sa vykonáva podľa časového harmonogramu*, ktorý spracováva zodpovedný pracovník za NE na obdobie nasledujúcich dvoch až štyroch

rokov (príloha 1). O každej činnosti týkajúcej sa údržby etalónu sú vedené záznamy buď v evidenčnej karte etalónového zariadenia, alebo formou správy o údržbe. V harmonograme údržby sú definované zariadenia, na ktorých sa pravidelná údržba vykonáva, postup vykonávania údržby, zodpovednosť za vykonanie údržby, rozsah údržby a časový interval opakovania údržby. Spôsob a časový interval údržby etalónu resp. jeho častí je stanovený s ohľadom na používanie príslušnej časti etalónu.

### **2.3 Opravy zariadení**

V prípade, ak opravu zariadení vykonávajú pracovníci laboratória, pred začatím opravy sa vypracuje postup opravy, kde musí byť uvedené predpokladaný rozsah opravy, zodpovednosť za jej realizáciu a spôsob následnej kontroly metrologických parametrov. Za vykonanú opravu časti etalónu v podmienkach laboratória je zodpovedný pracovník zodpovedný za NE.

V prípadoch, ak oprava niektorého etalónu alebo prístroja vyžaduje externého dodávateľa, pri jeho výbere sa postupuje v zmysle schválených organizačných smerníc ústavu s prihliadnutím na opravcov odporúčaných výrobcov.

Pri opravách, údržbe, vyradovaní meradiel a zariadení z používania, ako aj pri nákupe nových meradiel sa postupuje v zmysle schválených organizačných smerníc ústavu. Návrhy na vybavenie laboratória novou meracou technikou vypracováva garant etalónu, ktorý zodpovedá za výber vhodných meradiel z hľadiska ich technických a metrologických parametrov.

### **2.4 Evidencia**

Laboratórium zaznamenáva základné informácie o etalóne a jeho súčiastkach a ich používaní. Záznamy vo forme evidenčnej karty sú v laboratóriu vedené vo forme elektronickej. Za aktualizáciu týchto záznamov je zodpovedný Ing. Štefan Gašparík.

### **2.5 Medzinárodné porovnávacie merania**

Základným kritériom pre *medzinárodnú akceptovateľnosť etalónu* a potvrdenie jeho metrologických parametrov sú výsledky dosiahnuté v rámci medzinárodných porovnávacích meraní. Garant etalónu zodpovedá za priame nadviazanie na etalón BIPM (pre budúcnosť v roku 2000 až 2001 sa počíta s priamym porovnaním v BIPM), ako aj za účasť na vhodných medzinárodných porovnávacích meraniach, ktoré budú realizované v rámci činnosti EUROMET, DUNAMET, COOMET resp. organizované BIPM či dohodnuté v rámci dvojstrannej spolupráce s niektorými zahraničnými metrologickými ústavmi. Časové intervaly týchto porovnaní budeme vyberať tak, aby v základných hodnotách odporu t.j. pri hodnotách 1  $\Omega$  a 10 k $\Omega$  bol dodržaný interval porovnaní, ktorý je odporúčaný päť rokov.

## **3. PRIESTORY A PROSTREDIE (STN EN 45 001, ISO Guide 25)**

### **3.1 Umiestnenie slovenského národného etalónu elektrického odporu.**

Slovenský národný etalón elektrického odporu je umiestnený v:

**SMÚ v objekte H v nasledujúcich laboratóriách:**

- **č. 149** - základná a náhradná skupina etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,

- základná skupina etalónov nominálnej hodnoty 10 k $\Omega$ ,
- referenčné a pracovné etalóny nominálnych hodnôt do 1 M $\Omega$ ,
- etalónové a pomocné zariadenia používané pri uchovávaní a realizácii jednotky odporu a jej stupnice pri DC včítane tvorby stupnice v rozsahu hodnôt od 0,1 m $\Omega$  do 1 M $\Omega$ .
- **č. 153** - pracovné etalóny nominálnych hodnôt od 1M $\Omega$  do 1 G $\Omega$ ,
- etalónové a pomocné zariadenia používané pri uchovávaní a realizácii stupnice elektrického odporu pri DC v rozsahu hodnôt od 1M $\Omega$  do 10T $\Omega$ .
- **č. 255** - pracovné etalóny nominálnych hodnôt od 1 $\Omega$  do 100 k $\Omega$ , pri AC,
- etalónové a pomocné zariadenia používané pri uchovávaní a realizácii stupnice elektrického odporu pri AC v rozsahu hodnôt od 1 $\Omega$  do 100k $\Omega$ .

### 3.2 Požadované parametre prostredia (laboratórií):

a) počas používania etalónov:

- teplota 23 °C  $\pm$  1 °C,
- relatívna vlhkosť 40 až 55 % udržiavaná s toleranciou  $\pm$  5 %,
- atmosférický tlak 101 kPa udržiavaný s toleranciou  $\pm$  1 kPa resp. 3 kPa,
- vibrácie zanedbateľné,
- elektromagnetické žiarenie zanedbateľné.

b) počas uloženia etalónov:

- teplota 23 °C  $\pm$  5 °C,
- relatívna vlhkosť 20 až 70 %,
- atmosférický tlak 100 kPa  $\pm$  15 kPa,
- vibrácie zanedbateľné,
- elektromagnetické žiarenie zanedbateľné.

*Poznámka: V príslušnom laboratóriu kde bude realizované porovnávanie minimálne 1 deň pred meraním musí byť zabezpečené udržiavanie stálej teploty buď 23 °C s toleranciou neprekračujúcou  $\pm$  1 °C. V období odstavenia klimatizácie sa môže teplota meniť maximálne v rozsahu od 16 do 28 °C. Po takomto období, pred akýmkoľvek ďalšími meraniami, je potrebné minimálne v priebehu jedného týždňa (pri najpresnejších meraniach v priebehu dvoch týždňov) zabezpečiť udržiavanie stálej teploty buď 23 °C s uvedenou toleranciou potrebnou pre meranie. Tieto pravidlá sa analogicky vzťahujú aj na relatívnu vlhkosť a atmosférický tlak.*

### 3.3 Podmienky uloženia etalónov, etalónových zariadení a termostatov:

3.3.1 *Skupinové etalóny* nominálnych hodnôt 1  $\Omega$  a 10 k $\Omega$ , keď nie sú používané, musia byť umiestnené v ohňovzdornej skrini v laboratóriu č. 149. Referenčné a pracovné etalóny a kombinované prevodové dekády, keď nie sú používané, musia byť umiestnené buď v ohňovzdornej skrini alebo v skrini na to určenej v príslušnom laboratóriu.

3.3.2 Etalónové zariadenia *nie je dovolené*, a to ani v rámci laboratória, *premiestňovať*. Ak ich premiestnenie je nutné, potom každé premiestnenie sa musí robiť s najvyššou opatrnosťou a ďalšie merania na týchto zariadeniach sú možné až po ich kalibrácii a ak je to potrebné aj dojustovaní a opakovanej kalibrácii.

3.3.3 Členy skupinových etalónov a referenčné a pracovné etalóny sa minimálne dva dni až jeden týždeň pred ich používaním preložia zo skriň do príslušného kvapalinového

termostatu. Ich premiestnenie musí byť robené veľmi pozorne, aby ani jeden z etalónov neutrpel otras. Každé prudšie polozenie niektorého z etalónov treba zaznačiť do príslušného denníka etalónu s presným identifikovaním etalónu a poznámkou čo sa udialo.

3.3.4 Olejové termostaty s uloženými etalónmi sa nesmú premiestňovať. Medzi jednotlivými meraniami je dovolené etalóny v termostatoch navzájom opatrne premiestňovať. Pritom sa musia dodržať pravidlá uvedené v bode 3.3.3.

3.3.5 Po skončení meraní sa etalóny umiestnené do olejových termostatov opatrne vyberú z termostatov a umiestnia sa na dierované podložky do novodurových misiek. V nich sa počas maximálne jedného týždňa nechajú stiecť z oleja. Potom sa opatrne utrú na to určenými mäkkými handrami a opatrne sa umiestnia do príslušných skriň. Ostatné etalóny a etalónové zariadenia sa po skončení meraní do dvoch dní po skončení meraní umiestnia do príslušných skriň.

3.3.6 Etalóny, ktoré sú pravidelne používajú pri prenose hodnôt je dovolené ponechať umiestnené v termostate resp. na meracom mieste pričom musia byť umiestnené tak, aby boli chránené pred akoukoľvek manipuláciou s nimi a navyiac v období ich nepoužívania musia byť zakryté, buď krytom, alebo aspoň igelitovou prikrývkou, ktoré ich chránia pred prachom.

3.3.7 Pri akomkoľvek premiestňovaní skupinových, referenčných a pracovných etalónov, kombinovaných prevodových dekád, a etalónových zariadení sú v príslušnom laboratóriu dvaja pracovníci, z ktorých jeden len kontroluje premiestňovanie etalónov. Každá mimoriadna udalosť v súvislosti s premiestňovaním sa zaznamená do denníka príslušného etalónu.

3.3.8 Referenčné a pracovné etalóny ako aj ďalšie meradlá dodané na kalibráciu v nadväznosti na národný etalón elektrického odporu sa umiestňujú do laboratória kde bude uskutočnená kalibrácia, a to na miesto na to určené. Zároveň s ich dodaním je urobený záznam v príslušnom denníku kalibrovaných meradiel.

#### **4. POUŽÍVANIE ETALÓNOV A ETALÓNOVÝCH ZARIADENÍ:**

4.1 *Základná skupina etalónov odporu (nominálnej hodnoty  $1 \Omega$ ) uchovávajúc jednotku elektrického odporu sa používa:*

- na uchovávanie a reprodukovanie jednotky elektrického odporu platnej pre SR, (vzájomné porovnanie členov skupiny - tri série úplných vzájomných porovnaní členov skupiny - dvakrát ročne s úplným vyhodnotením ich hodnôt na zachovanú strednú hodnotu skupiny),
- na nadviazanie jej strednej hodnoty a hodnôt jej členov na  $\Omega$  realizovaný buď na základe kvantového Hallovho javu, alebo odvodený z hodnoty Thomsonovho-Lampardovho kondenzátora (po každom medzinárodnom porovnaní cestovných etalónov - minimálne päť sérií porovnaní v skupine s cestovnými etalónmi s vyhodnotením stálosti členov skupiny a strednej hodnoty skupiny a spresnením trendu strednej hodnoty),
- na porovnanie jej hodnoty s hodnotami členov náhradnej skupiny etalónov (dve série porovnaní v skupine zloženej z minimálne troch etalónov základnej skupiny a všetkých členov náhradnej skupiny, s vyhodnotením stálosti hodnôt členov a strednej hodnoty náhradnej skupiny),
- na nadviazanie hodnôt nadväzovacích (cestovných - porovnávacích) etalónov a na sledovanie stálosti ich hodnôt (dve až päť sérií porovnaní s členmi základnej skupiny pred medzinárodnými porovnaniami, ináč minimálne dve série meraní ročne),

- na prenos hodnoty na pracovné etalóny (minimálne dve série porovnaní ročne v zostave minimálne troch členov základnej skupiny s pracovnými etalónmi),
- na prenos hodnoty pri tvorbe stupnice odporu pomocou pomerových meraní (minimálne jedna séria meraní s tromi etalónmi základnej skupiny na odvodenie hodnôt  $0,1 \Omega$  a  $10 \Omega$  - pomocou komparátora Guildline 9920),
- na nadviazanie kombinovaných prevodových dekád na jednotku odporu (minimálne jedna séria meraní s tromi etalónmi základnej skupiny - na nadviazanie paralelne zapojenej kombinovanej prevodovej dekády  $10 \times 10 \Omega$  na hodnotu  $1 \Omega$ ),
- ako základ pre všetky merania slúžiace na zdokonaľovanie reťazcov nadväznosti a experimentálne práce (podľa potreby laboratória).

#### 4.2 Etalónové zariadenie - most komparátor Guildline 9920

je potrebné pravidelne udržiavať a ošetrovať.

Jeho údržba a ošetrovanie pozostáva:

- z čistenia a premazávania kontaktných dráh otočných prepínačov (min. 2 x ročne),
- z dojustovania odporových deličov (minimálne 1 x ročne),
- z opakovaných kalibrácií (minimálne 2 x ročne - dve série a vždy po justácii).

#### 4.3 Pomocné zariadenia používané v oblasti jednotky elektrického odporu

sa pravidelne kontrolujú resp kalibrujú podľa nasledujúcich pravidiel:

- olejový termostat Guildline 9730 CR kontrola v laboratóriu 1 x dvojročne,
- platínový teplomer KZIP TSPN 1 kalibrácia v lab. teploty 1 x dvojročne,
- sklenené teplomery s rozlíšením  $1/100 \text{ } ^\circ\text{C}$  kalibrácia 1 x dvojročne v lab. teploty,
- stabilizátor sieťového napätia ST 1000.5 kontrola správnosti činnosti každé 3 roky,
- stabilizovaný zdroj napätia BS 525 kontrola správnosti činnosti každé 3 roky.

Kalibrácia pomocných zariadení: v laboratóriu sa robí podľa interných postupov, mimo laboratória (teplomery atď) podľa kalibračných postupov používaných v príslušných laboratóriách.

4.4 Všetky činnosti súvisiace s etalónmi a zariadeniami z oblasti jednotky elektrického odporu sa evidujú v *denníku jednotky elektrického odporu*.

4.5 S etalónmi a etalónovými zariadeniami patriacimi do oblasti jednotky elektrického odporu môže pracovať len pracovník zodpovedný za etalón, alebo jeho zástupca.

## 5. **PRENOS JEDNOTKY A STUPNICE ELEKTRICKÉHO ODPORU:**

### 5.1 Zabezpečenie tvorby stupnice na úrovni národného etalónu

5.1.1 Pracovné etalóny nominálnych hodnôt  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$ ,  $10$ ,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  a  $10^9 \Omega$ , ktoré slúžia na prenos jednotky a stupnice el. odporu pri DC sa kalibrujú pomocou referenčných kombinovaných prevodových dekád a príslušných etalónových zariadení. Ich nadviazanie na jednotku  $\Omega$  prostredníctvom príslušného meracieho reťazca je realizovaná každý rok minimálne v rámci troch opakovaných sérií meraní.

5.1.2 Etalónové zariadenia, ktoré sú v oblasti tvorby stupnice odporu pri DC používané a vyžadujú pravidelnú kalibráciu, sú podrobne aj s rekalibračnými intervalmi uvedené v tab. 1.

5.1.3 *Pomocné prístroje a zariadenia*, ktoré sú používané v oblasti tvorby stupnice odporu pri DC a vyžadujú pravidelnú kalibráciu alebo kontrolu sú podrobne aj s intervalmi ich kalibrácie resp. kontroly uvedené v tab. 2 a 3.

5.1.4 *Referenčné a pracovné etalóny odporu pre meranie pri AC* nominálnych hodnôt 1, 10,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4 \Omega$  sa kalibrujú nadviazaním na etalón rovnakej nominálnej hodnoty, ktorého skutočná hodnota je známa pri DC, pomocou minimálne piatich sérii meraní aspoň každý druhý rok.

5.1.5 *Referenčné a etalónové zariadenia*, ktoré sa používajú v oblasti tvorby stupnice odporu pri AC a vyžadujú kalibráciu sú podrobne aj s rekalibračnými intervalmi uvedené v tab. 1.

5.1.6 *Pomocné prístroje a zariadenia*, ktoré sa používajú v oblasti tvorby stupnice odporu pri AC a vyžadujú kalibráciu alebo kontrolu sú podrobne aj s intervalmi kalibrácie resp. kontroly uvedené v tab. 1, 2 a 3.

5.1.7 Všetky činnosti súvisiace s etalónmi a zariadeniami z oblasti stupnice elektrického odporu pri DC sa evidujú v denníku stupnice elektrického odporu pri DC a z oblasti stupnice elektrického odporu pri AC v denníku stupnice elektrického odporu pri AC.

5.1.8 S etalónmi a etalónovými zariadeniami patriacimi do oblasti národného etalónu elektrického odporu môže pracovať len pracovník zodpovedný za NE, alebo jeho zástupca, resp. osoba na určitú činnosť s národným etalónom zaškolená a s povolením pracovníka zodpovedného za NE.

5.1.9 *Záznamy o kalibráciách* zameraných na výskumnú činnosť vedie pracovník zodpovedný za NE, alebo ním poverená osoba samostatne pre oblasť skupinových etalónov, pre stupnicu elektrického odporu pri DC a pre stupnicu elektrického odporu pri AC a v záznamoch o výskumnej činnosti súvisiacej s národným etalónom.

5.1.10 V kompetencii pracovníka zodpovedného za NE v prípadnej súčinnosti so zástupcom je vymeniť časti etalónu, ktorých zmena neovplyvní parametre etalónu uvádzané v správe. Po zvážení a analýze môžu títo pracovníci nahradiť pracovné etalóny za etalóny s vyššou časovou stálosťou a podobne môže nahradiť pomocné zariadenia za nové, pričom musí dodržať predpoklad nezhoršenia parametrov uvádzaných pre toto zariadenie v správe. Každá zmena niektorej časti etalónu aj s jej zdôvodnením a prípadným dokladovaním zistených výsledkov sa musí uviesť v príslušnom denníku etalónu s odkazom na príslušný doklad.

5.1.11 *Výmenu etalónov* resp. časti etalónových zariadení či náhradu etalónových zariadení za nové, pri ktorých je možná zmena parametrov etalónu alebo jeho časti posudzuje Vedecká rada.

## **5.2 Prenos jednotky na referenčné a pracovné etalóny a zariadenia**

5.2.1 *Referenčné a pracovné etalóny nominálnych hodnôt*  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$ , 1, 10,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$ ,  $10^7$ ,  $10^8$  a  $10^9 \Omega$  a meracie zariadenia elektrického odporu na meranie pri DC, ktoré sú nadväzované na referenčné a pracovné etalóny z oblasti národného etalónu elektrického odporu sa kalibrujú pomocou príslušných etalónových zariadení a etalónov podľa interných pracovných postupov. Tieto obsahujú podrobný popis činností súvisiacich s nadviazaním týchto meradiel prostredníctvom príslušného meracieho reťazca

na jednotku  $\Omega$  resp. príslušnú hodnotu odporu zo stupnicu odporu, ktorá je uchovávaná v rámci národného etalónu elektrického odporu. Súčasťou týchto postupov je aj podrobný popis vyhodnotenia nameraných údajov včítane určenia neistôt zistených hodnôt.

5.2.2 *Referenčné a pracovné etalóny odporu pre meranie pri AC* nominálnych hodnôt 1, 10,  $10^2$ ,  $10^3$ ,  $10^4$  a  $10^5 \Omega$  a etalónové zariadenia pre meranie pri AC sa kalibrujú podľa interných pracovných postupov vychádzajúcich z platných noriem. Pomocou etalónového zariadenia sa nadväzujú na etalóny alebo etalónové zariadenia rovnakej nominálnej hodnoty pomocou opakovaných sérii meraní alebo porovnaní.

5.2.3 Laboratórium ku kalibrovaným etalónom a zariadeniam vydáva dokument – *Kalibračný certifikát*, ktorý má forma predpísanú organizačnou smernicou ústavu. V kalibračnom certifikáte okrem iného je uvedená presná identifikácia laboratória, adresa zákazníka, presne popísané kalibrované meradlo (výrobca, typ, výr.č.), stručne uvedený popis použitej metódy kalibrácie, etalóny a zariadenia, ktoré boli použité pri kalibrácii s deklarováním ich nadväznosti a štandardných neistôt, výsledky kalibrácie s ich neistotami, podmienky kalibrácie s toleranciami a ďalšie dôležité údaje. Všetky kalibračné certifikáty sú v laboratóriu evidované a kópie vystavených certifikátov sú archivované v databáze PC.

### **5.3 Evidencia a postup pri vybavovaní požiadaviek na metrologické služby**

Požiadavky na metrologické služby v nadväznosti na etalón elektrického odporu sú centrálné evidované v SMÚ. Pri ich vybavovaní v laboratóriu (cez príjem meradla na kalibráciu, vlastnú kalibráciu, zhodnotenie výsledkov a neistôt s následným vyhotovením kalibračného certifikátu) až po vystavenie faktúry za prácu v ekonomickom úseku SMÚ sa riadime schválenými organizačnými smernicami ústavu a príslušnými rozhodnutiami riaditeľa ústavu.

### **5.4 Preberanie a odovzdávanie meradiel na kalibráciu**

Postup pri preberaní meradiel na kalibráciu a ich odovzdanie po kalibrácii sa riadi schválenými organizačnými smernicami ústavu. Meradlá na kalibráciu od zákazníkov sa po vystavení preberacieho protokolu umiestnia do laboratória č. 149 do priestorov k tomu určených. Po ich kalibrácii sa opätovne umiestnia v tomto laboratóriu v časti skrine určenej pre skalibrované meradlá.

### **5.5 Vybavovanie sťažností**

Pri vybavovaní sťažností sa riadime schválenými organizačnými smernicami zaoberajúcimi sa touto problematikou.

## **6. Z Á Z N A M Y (podľa STN EN 45 001, ISO Guide 25)**

V laboratóriu pri porovnávaní skupinových etalónov sú vedené meracie protokoly o porovnávaní (postupne prechádzame na ich elektronický záznam). Pri porovnávacích meraniach zameraných na tvorbu stupnice pri DC vedieme meracie protokoly odvodenia násobkov a dielov ohmu. Podobne vedieme meracie protokoly o tvorbe stupnice odporu pri AC. Tieto obsahujú všetky údaje k tomu aby bolo možné opakovať pri rovnakých podmienkach.

Pri kalibrácii meradiel odporu pre zákazníkov vedieme meracie protokoly, zahrňujúce všetky merania tak v oblasti jednotky, jej stupnice pri DC a pri AC. Protokoly obsahujú všetky údaje a informácie, potrebné k tomu aby bolo možné meranie zopakovať, pokiaľ to bude možné, za rovnakých podmienok a tak mať možnosť sledovať faktory ovplyvňujúce neistoty zistených výsledkov merania.



## 7 *DOKUMENTÁCIA ETALÓNU*

### **7.1 Základný obsah dokumentácie etalónu**

Účelom dokumentácie etalónu, ktorá obsahuje dokumentáciu etalónu a jeho zložiek je poskytnutie celkových relevantných informácií o etalóne a jeho častiach. Jej hlavnými časťami sú základné technické a metrologické charakteristiky etalónu (vrátane charakteristík zariadení patriacich k etalónu), pravidiel uchovávania a používania etalónu a pravidiel resp. postupy pri medzinárodnom porovnávaní etalónu prípadne niektorých jeho vybraných hodnôt.

### **7.2 Komplexnosť dokumentácie**

Dokumentácia etalónu je spracovaná s ohľadom na konkretizáciu činnosti etalónu s cieľom v dokumentovanom rozsahu zabezpečiť jednotnosť a správnosť meraní tak vo vzťahu k uchovávanej a realizovanej jednotke elektrického odporu, ako aj jej stupnice pri DC a AC. Za komplexnosť a správnosť údajov v dokumentácii etalónu zodpovedá garant etalónu.

### **7.3 Základná dokumentácia národného etalónu**

Základnú dokumentáciu národného etalónu elektrického odporu tvorí:

- Súhrnná správa o etalóne (zahrňujúca technické a metrologické parametre),
- Správy o výsledkoch periodickej kontroly etalónu,
- Pravidlá používania a uchovávania etalónu,
- Prílohy dokladujúce metrologické parametre etalónu a jeho medzinárodnú akceptovateľnosť,
- Osvedčenie o národnom etalóne Slovenska,
- Zápis zo záverečného rokovania komisie o návrhu, posudky posudzovateľov,
- Podklady o zabezpečení systému kvality SMÚ a laboratória elektriny,
- Interné protokoly a záznamy o vykonaných kontrolách meradiel a zariadení,
- Správy o medzinárodných aj medzilaboratórných porovnaníach etalónov,
- Pracovné postupy (pre všetky formy použitia etalónov a jeho sledovania:
  - pre údržbu etalónov a zariadení,
  - pre porovnávacie merania skupinových etalónov,
  - pre tvorbu stupnice pri DC a AC,
  - pre prevodové merania DC/AC,
  - pre porovnávacie a priame merania etalónov a zariadení,
  - návody na obsluhu používaných etalónových a pomocných zariadení,
  - pre prípady vzniku poruchy, stratu metrologických parametrov a následný návrh opravy,
  - zahrňujúce spôsob zabezpečenia následnej kontroly zariadení po vzniku poruchy,
  - zahrňujúce postup pri výmene niektorých z etalónov).
- Záznam porovnávacích meraní, kalibrácií, kontroly a údržby etalónu a zariadení.
- Denník etalónu (záznamy o používaní etalónu),
- Ostatné dokumenty nezahrnuté v predchádzajúcej dokumentácii (časti výskumných správ súvisiace s uchovávaním a sledovaním etalónu, výsledky experimentálnych meraní, výsledky výskumu na etalóne resp. jeho častiach, významná medzinárodná spolupráca a pod.).

#### **7.4 Podrobný zoznam základnej dokumentácie národného etalónu**

Zoznam dokumentov národného etalónu zahrňujúci jeho komplexnú dokumentáciu sú prílohou č. 2 pravidiel uchovávania.

### **8. SYSTÉM KONTROLY (STN ISO 9001, STN EN 45 001, ISO Guide 25)**

Kontrola činností súvisiacich s používaním a uchovávaním národného etalónu elektrického odporu je zabezpečovaná na troch úrovniach. Na prvej úrovni je to kontrola činností priamo zabezpečovaná garantom etalónu, na druhej je to kontrola organizovaná vedením ústavu (prostredníctvom auditorov k tomu určených) a na najvyššej úrovni je to previerka vyhlásených národných etalónov, ktorú vykonáva Vedecká rada ústavu.

#### **8.1 Kontrola činností vykonávaná pracovníko zodpovedným za etalón**

8.1.1 Za vykonávanie komplexnej kontroly vo všetkých oblastiach technických činností s národným etalónom elektrického odporu zodpovedá pracovník zodpovedný za etalón. Zložkami tejto kontroly sú všetky činnosti zamerané na zachovanie metrologických parametrov etalónu, ako aj činnosti súvisiace s prenosom jednotky odporu a jej stupnice na meradlá hierarchicky postavené nižšie. V prípade zistenia nedostatkov musí tento pracovník okamžite prijať opatrenia na realizáciu nápravy.

8.1.2 Celková kontrola etalónu vykonávaná zodpovedným pracovníkom za NE sa realizuje v súlade s program kontrol stavu etalónu a zabezpečenia jeho uchovávania. V programe, ktorý je prílohou č. 3 pravidiel používania a uchovávania, je uvedený spôsob vykonávania jednotlivých kontrol, ich intervaly a zodpovednosť za jednotlivé etapy kontroly. Za vypracovanie programu kontrol stavu etalónu je zodpovedný pracovník zodpovedný za NE.

#### **8.2 Kontrola vedením ústavu (interné audity)**

8.2.1 Činnosť laboratória súvisiaca s národným etalónom elektrického odporu je periodicke kontrolovaná v rámci interného auditu, ktorý má dopredu stanovený program. Cieľom tejto kontroly je zistiť, či činnosť súvisiaca s národnými etalónami je vykonávaná v súlade so všeobecnými kritériami na činnosť skúšobných a kalibračných laboratórií, stanovenými v STN EN 45 001, ISO/IEC Guide 25, STN ISO 9001.

8.2.2 Postup pri vykonávaní interných auditov, kontrolované činnosti, Spôsob a náležitosti záznamov o zisteniach a nápravných opatreniach, postup a spôsob vykonávania nápravných činností a následná kontrola ich vykonania, požiadavky na auditorov, kritéria na zloženie posudzovacích skupín, kompetencie a zodpovednosť zamestnancov ústavu sú definované v organizačnej smernici SMÚ.

8.2.3 Za realizáciu náprav v zmysle nápravných opatrení vyplývajúcich z interného auditu laboratória je zodpovedný vedúci centra elektriny.

#### **8.3 Previerka národného etalónu Vedeckou radou ústavu**

8.3.1 Previerku národných etalónov Slovenska vykonáva Vedecká rada Slovenského metrologického ústavu, v súlade s Pokynom predsedu Úradu č. 1/1995 a Štatútom Vedeckej rady SMÚ. Cieľom previerky je preveriť najmä zachovanie metrologických parametrov etalónu na požadovanej medzinárodnej úrovni, technický stav etalónu, dodržanie podmienok uchovávania a používania etalónu, kvalifikáciu personálu pracujúceho s etalónom, zabezpečenie prenosu reprodukováných hodnôt na etalóny nižších

úrovni. Súčasťou previerky je aj kontrola správnosti a kompletnosti dokumentácie o etalóne a záznamov o používaní etalónu.

8.3.2 Návrh na vykonanie previerky národného etalónu predkladá predseda VR SMÚ na jej zasadnutí spolu s harmonogramom, ktorým sa stanovuje časový a vecný rozsah previerky.

8.3.3 Po vykonaní previerky sa robí zápis, obsahujúci najdôležitejšie informácie o priebehu previerky, zistených nezhodách a posúdenie ich povahy. Súčasťou zápisu je návrh na vykonanie náprav. Zápis z previerky predkladá predseda komisie VR SMÚ na jej najbližšom zasadnutí.

8.3.4 Na základe zistených skutočností navrhuje VR SMÚ potrebné opatrenia na predĺženie, pozastavenie, obnovenie, zrušenie, rozšírenie alebo zúženie platnosti Osvedčenia o národnom etalóne.

### Prílohy:

- A) Program údržby etalónov a zariadení
- B) Zoznam dokumentov národného etalónu elektrického odporu
- C) Program kontrolných činností súvisiacich s kontrolou uchovávaní a používania národného etalónu elektrického odporu.

PRÍLOHA A. (Pravidiel používania a uchovávaní národného etalóna elektrického odporu)  
Program údržby etalónov a zariadení  
na roky 2008 až 2011

Por. č.	Názov etalónu (zatriedenia)	Základný popis údržby	Termín realizácie	Zodpoved. Pracovník	Podpis
1	Skupinové etalóny 1 $\Omega$ , 10 k $\Omega$ ,	Kontrola kontaktov, Čistota kontaktov, krytov	05/2008 05/2009 05/2010 05/2011	PZA	
2	Referenčné a pracovné etalóny (stupnica DC,AC)	Kontrola kontaktov, Čistota kontaktov, krytov	06/2008 06/2009 06/2010 06/2011	Zást. PZA	
3	Jednosmerný prúdový komparátor Guildl. 99020	Čistenie kontaktných dráh prepínačov, justáž deličov	01 a 08/2008 01 a 08/2009 01 a 08/2010 01 a 08/2011	PZA	
4	Wheatstoneov mostík Tinsley 5577 A	Čistenie kont. dráh prepínačov čistota kontaktov a krytu	08/2007 07/2009	Zást. PZA	
5	Vysokoohmový mostík SMÚ	Čistota kontaktov, krytu, stav zdrojov, izolačné stavy	06/2008 06/2009	Zást. PZA	
6	Most s dvojito viazanými pomerovými ramenami	Čistota kontaktov, prechodové odpory, čistota krytu	09/2008 09/2009	PZA	
7	Kombinované miery odporu	Čistota kontaktov, prechodové odpory, čistota krytu	05/2007 05/2009	PZA	
		Čistota kontak. dráh, precho-	06/2008	Zást. PZA	

8	Odporové dekády	dové odpory, čistota krytu	07/2010		
9	Prúdové zdroje	Preventívna kontrola, svorky, čistota kontaktov a krytu	08/2008 10/2010	Zást. PZA	
10	Olejový termostat GUILDLINE 9730 CR	Kontrola nastavovacích prvkov čistota oleja, medzné stavy	02/2007 02/2008 02/2009 02/2010	PZA	
11	Olejový termostat Haake, DC 30	Kontrola nastavovacích prvkov čistota oleja, medzné stavy	02/2007 02/2008 02/2009 02/2010	PZA	
12	Stabilizované zdroje napätia ZPA ST 1000.5	Preventívna kontrola, svorky, prepínače čistota krytu	11/2008 11/2011	Zást. PZA	
13	Kapacitné dekády	Kontakty, čistota	12/2008 12/2011	Zást. PZA	
14	Registračné prístroje	Preventívna kontrola	12/2009 12/2011	Zást. PZA	
15	Teplomery	Preventívna kontrola (neporušenosti)	02/2008 02/2009 02/2010 02/2011	Zást. PZA	

PZA – pracovník zodpovedný za etalón,  
Zást. PZA zástupca pracovníka zodpovedného za etalón

## PRÍLOHA B. (Pravidiel používania a uchovávania národného etalónu elektrického odporu)

### Zoznam dokumentov národného etalóna elektrického odporu

Základnú dokumentáciu národného etalóna elektrického odporu tvorí:

1. Súhrnná správa o etalóne z roku 1987.
2. Správa o výsledkoch periodickej kontroly etalóna z roku 1999.
3. Pravidlá používania a uchovávania etalóna,
4. Osvedčenie o národnom etalóne číslo 001/1997.
5. Zápis zo záverečného rokovania komisie o návrhu, posudky posudzovateľov.
6. Interné protokoly a záznamy o vykonaných kontrolách meradiel a zariadení.
7. Správy o medzinárodných porovnávacích meraniach.
8. Pracovné postupy (zahrnuté vo výskumných správach) pre:
  - 8.a porovnávacie merania skupinových etalónov,
  - 8.b tvorbu stupnice odporu pri DC pre malé odporové hodnoty,
  - 8.c tvorbu stupnice odporu pri DC v oblasti stredných odporov.
  - 8.d tvorbu stupnice odporu pri DC v oblasti veľkých odporov,
  - 8.e prevod z DC na AC a tvorbu stupnice odporu pri AC,
  - 8.f sériovoparalelné prepojenie kombinovaných mier odporu.
9. Pracovné postupy na kalibráciu meradiel:
  - 9.a číslo 5/240/99 na kalibráciu číslicových ohmmetrov,
  - 9.b číslo 6/240/99 na kalibráciu odporových dekád.
10. Návod na obsluhu:
  - 10.a jednosmerného prúdového komparátora Guildline 9920,
  - 10.b Wheatstoneovho odporového mostíka Tinsley 5577 A,
  - 10.c vysokoohmového mostíka (obsiahnuté vo výskumnej správe),
  - 10.d AC mostíka (obsiahnuté vo výskumnej správe),
  - 10.e komparátora MI 6000B,
  - 10d multimetra HP 3458 A.

11. Základy postupu v prípade vzniku poruchy národného etalónu elektrického odporu a následné návrhy náprav.
12. Záznamy porovnávacích meraní:
  - 12.a skupinových etalónov nominálnej hodnoty 1  $\Omega$ ,
  - 12.b porovnávacích meraní skupín pred medzinárodnými porovnaniami,
  - 12.c pri tvorbe stupnice odporu,
  - 12.d z prevodu DC/AC a následnej tvorby AC stupnice odporu.
13. Kalibračné protokoly z kalibrácie meradiel:
  - 13.a etalónov elektrického odporu do 1 M $\Omega$ , odporových dekád, odporových rozsahov multikalibrátorov, zariadení na kalibráciu meračov tepla,
  - 13.b etalónov elektrického odporu nad 1 M $\Omega$ , vysokoohmových odporových dekád, odporových rozsahov multimetrov a meradiel v oblasti vysokoohmových odporov.
14. Denník etalónu (záznamy o používaní etalóna).
15. Záznamy s výsledkami experimentálnych meraní.
16. Ostatné dokumenty nezahrnuté v predchádzajúcej dokumentácii.
17. Výsledky dosiahnuté v rámci medzinárodnej spolupráce.
18. Kalibračné certifikáty pomocných meradiel a zariadení.
19. Podklady o zabezpečení systému kvality v SMÚ (rozpracované).
20. Príručka kvality s dodatkami pre laboratórium elektriny (rozpracovaná).

#### PRÍLOHA C.

(Pravidiel používania a uchovávanía národného etalóna elektrického odporu)

Program kontrolných činností súvisiacich s kontrolou uchovávanía a používania národného etalóna elektrického odporu

na roky 2008 až 2011

Por. č.	Predmet kontroly	Interval kontroly	Pracovník realizujúci kontrolu	Výsledok kontroly – ak treba návrh nápravy	Adresát výsledku
1	Parametre uchovávaných skupinových etalónov	2 x ročne	PZA	Návrh výmeny etalónov	Vedúci lab.
2	Parametre uchovávaných referenčných a pracovných etalónov	2 x ročne	PZA	Návrh výmeny etalónov	Vedúci lab.
3	Parametre mosta komparátora Guildline 9920	2 x ročne	PZA	Návrh opravy zariadenia	Vedúci lab.
4	Parametre ostatných mostov (Tinsley, vysokoohmový, striedavý)	1 x ročne	PZA.	Návrh opravy zariadenia	Vedúci lab.
5	Parametre kombinovaných mier odporu	1 x ročne	PZA	Návrh opravy zariadenia	Vedúci lab.
6	Parametre ostatných etalónov a zariadení	1 x ročne	PZA	Návrh výmeny resp. opravy	Vedúci lab.
7	Parametre olejových termostatov Guildline, Haak	2 x ročne	PZA	Návrh opravy zariadenia	Vedúci lab.
8	Platnosť kalibrácie etalónov a zariadení	1 x ročne	Zást. PZA	Dodatočná kalibrácia	Vedúci lab.
9	Kontrola vedenia záznamov	4 x ročne	PZA	Doškolenie pracovníkov	Vedúci lab.
10	Kontrola údržby etalónov a zariadení	1 x ročne	Zást. PZA	Dodatočná údržba resp. oprava	Vedúci lab.
11	Dodržiavanie pracovných postupov	4 x ročne	PZA	Doškolenie pracovníkov	Vedúci lab.
	Kontrola správnosti výpočtu			Doškolenie	

12	neistôt	6 x ročne	PZA	pracovníkov	Vedúci lab.
13	Kontrola vystavovaných kalibračných certifikátov	6 x ročne	PZA.	Školenie pracovníkov	Vedúci lab.
14	Dodržiavanie bezpečnosti práce	6 x ročne	PZA a Zást. PZA	Školenie pracovníkov	Vedúci lab.
15	Kontrola manipulácie s meradlami	2 x ročne	Zást. PZA	Školenie pracovníkov	Vedúci lab.
16	Kontrola dodržiavania okolitých referenčných podmienok	Mesačne	PZA	Odstránenie závad klimatiz.	Vedúci lab.

PZA – pracovník zodpovedný za etalón,

Zást. PZA zástupca pracovníka zodpovedného za etalón