

# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 014/98 Národný etalón elektrickej kapacity

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

**Správu vypracoval:** Ing. Štefan Gašparík

**Bratislava, december 2010**

## OBSAH

### SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE ELEKTRICKEJ KAPACITY

1	Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE elektrickej kapacity	3
2	Podrobný popis NE elektrickej kapacity a s ním spojených zariadení	5
3	Špecifikácia metrologických vlastností národného etalóna elektrickej kapacity	8
4	Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní.	9
5	Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE elektrickej kapacity	14
6	Zoznam publikácií o NE elektrickej kapacity	14
7	Zoznam dokumentov súvisiacich s NE elektrickej kapacity	16
príloha 1	Certifikát NE elektrickej kapacity	17
príloha 2	Pravidlá používania a uchovávanía NE elektrickej kapacity	20

## **Názov etalónu : Národný etalón elektrickej kapacity NE 014/98**

Forma a dátum vyhlásenia etalónu : Osvedčenie o národnom etalóne pod číslom 014/98 zo dňa 8. 12. 1998 vydané UNMS SR v Bratislave , certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom (certifikát č. 014/02, 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 elektrickej kapacity**

V súlade s rozvojom vedy a techniky jednou z oblastí, ktorá vyžaduje primeranú pozornosť je meranie elektrickej kapacity. Po fyzikálnej stránke je meranie elektrickej kapacity určovanie jedného z parametrov elektrických obvodov, ktoré často súvisí s podrobnejším zisťovaním rozloženia elektrického poľa, sledovaním rázových javov a pod. Týmto meraním priamo zisťujeme koľkokrát je hodnota kapacity neznámeho kondenzátora, alebo sústavy elektród, väčšia alebo menšia ako jednotka elektrickej kapacity či jej dielčej časti.

Jednotka F, či presnejšie jej dielčia časť 10 pF, ktorá sa realizuje a uchováva skupinovým etalónom, je základom pre tvorbu stupnice elektrickej kapacity pokrývajúcom rozsah do úrovne stotín pF a v opačnom smere do oblasti veľkých kapacít až do oblasti  $\mu\text{F}$  resp. až do mF. Pritom je dôležité si uvedomiť, že tento rozsah kapacity sa vyžaduje merať v základnom frekvenčnom rozsahu obvykle do 20kHz, s dôrazom na dosiahnutie najvyššej presnosti merania pri 1 kHz resp. 1,592 kHz ( $\omega = 10\,000\text{ s}^{-1}$ ). Pre potreby energetiky sú vyžadované najmä merania pri 50 Hz, a to obvykle pri vyšších napätiach až do niekoľko kV. Jednotka kapacity a jej stupnica je základom pre prenos tejto jednotky na etalónové kondenzátory, kapacitné dekády, kapacitné referencie, meradlá elektrickej kapacity (kapacitné mostíky, RLC metre, určité druhy multimetrov) impedančné mostíky a ďalšie. Okrem toho meranie elektrickej kapacity, či už priame alebo nepriame, sa využíva na meranie parazitných vlastností rezistorov a indukčných cievok pretekaných striedavými prúdmi.

Aj pri niektorých neelektrických veličinách sa dnes často využívajú metódy na nepriame meranie týchto veličín prostredníctvom merania elektrickej kapacity. Z mnohých možno uviesť aspoň najrozšírenejšie: kapacitné snímače na meranie tlaku, deformácií a ďalšie. Pritom ako referencia sa obvykle využíva časť stupnice elektrickej kapacity.

Základné meranie elektrického odporu, ktoré priamo súvisí s definovaním základnej jednotky SI sústavy pre elektrické veličiny - ampéru, sa realizuje odvodením z hodnoty kapacity kondenzátora realizovaného v súlade s Thomson-Lampardovou teorémou. To vyžaduje, aby aj jednotka elektrickej kapacity bola dostatočne presne známa. Tým viac, že pri etalónoch elektrického odporu pretekaných striedavým prúdom, je potrebné presne poznať ich impedancie, čiže aj ich parazitné kapacity.

Ťažisko využitia merania elektrickej kapacity je v rôznych odvetviach elektrotechnického a strojárenského priemyslu. Jedna časť týchto meraní slúži pre potreby elektrotechnickej a elektronickej súčiastkovej základne. Parametre takto hodnotených súčiastok priamo ovplyvňujú kvalitu z nich zostavovaných zariadení. Od parametrov súčiastok závisí užitková hodnota finálnych výrobkov. Druhá časť týchto meraní slúži na kontrolu kvality finálnych

výrobkov, prípadne polotovarov (vodiče, káble, izolátory, meracie zariadenia a pod. ) a na ich kalibráciu či kontrolu v prevádzke (automatizačné a regulačné systémy a mnohé ďalšie). Už tým je dostatočne zdôvodnená potreba zabezpečiť etalón elektrickej kapacity na národnej úrovni.

Z hľadiska ekonomického sú v nadväznosti na jednotku elektrickej kapacity SMÚ a jej stupnicu v SR realizované metrologické výkony v rozsahu okolo 5 000 Eur ročne. Ak si uvedomíme, že tieto výkony realizované v SMÚ pokrývajú len nadväznosť elektrickej kapacity na najvyššej úrovni presnosti a ďalej sú v rámci rozširovania nadväznosti meradiel šírene oblasťou legálnej metrológie a metrologickými laboratóriami, je potreba etalónu elektrickej kapacity pre SR nepopierateľná. Realizácia a uchovávanie etalónu v SR je aj v súlade s presadzujúcimi názormi v rámci EÚ, kde v rámci EUROMETU, ktorého sme asociovaným členom, sa presadzuje názor v čo najširšej miere zabezpečiť metrologickú nadväznosť meradiel na národnej úrovni. Dodržiavanie jednotnosti a správnosti merania v jednotlivých štátoch sa potom kontroluje medzinárodnými porovnaniami.

V súčasnosti je mnoho metrologických ústavov, ktoré realizujú jednotku kapacity pomocou Thomsonovho-Lampardovho kondenzátora. Z nich ju na úrovni 10 pF najpresnejšie realizujú v: NIST (USA), NSL (Austrália), PTB (Nemecko), NPL (Anglicko), LCIE (Francúzsko). V týchto ústavoch je hodnota 10 pF pripisovaná relatívna neistota v ráde  $10^{-8}$ . Väčšina ďalších metrologických ústavov, ktoré realizujú 10 pF na základe absolútneho merania pripisujú tejto hodnote relatívnu neistotu v ráde  $10^{-7}$ .

S ohľadom na skutočnosť, že v SMÚ nie je absolútne meranie kapacity, je postavenie SMÚ zrovnateľné s analogickými metrologickými ústavmi bez absolútneho merania. Tieto ústavy, rovnako ako SMÚ, nadväzujú svoju hodnotu kapacity 10 pF na inštitúcie, ktoré vlastnia vypočítateľný kondenzátor. Niektoré z nich, na rozdiel od SMÚ, kde zatiaľ meriame kapacitu len pri frekvencii 1 kHz a 1,6 kHz zabezpečujú meranie kapacity v širšom frekvenčnom rozsahu.

Štatútom SMÚ je výskum, vývoj, realizácia a medzinárodné porovnávanie primárnych etalónov a stupníc národohospodársky významných fyzikálnych veličín. Ako výsledok tejto činnosti je odovzdanie týchto stupníc do praxe - teda nadviazanie etalónov nižších rádov na etalóny SMÚ.

Národný etalón elektrickej kapacity plní svoju funkciu od roku 1998. Etalón pokrýva rozsah pre meranie pri frekvencii 1 kHz a 1,6 kHz od 10 pF do 10  $\mu$ F

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

- okolo 20 až 25 etalónov kapacity,
- 5 až 7 presných kapacitných dekád,
- 2 až 5 RLC mostikov,
- 2 až 3 číslícových meradiel vodivosti,
- 1 až 2 kapacitných rozsahov multikalibrátorov

Ročný príjem za realizované metrologické služby v nadväznosti na národný etalón elektrickej kapacity, ktorý je odvádzaný do štátneho rozpočtu, predstavuje v období posledných dvoch rokov cca 4 000 Eur/ročne.

Mimo toho hodnoty základného etalónu a stupnice el. kapacity uchovávané v rámci národného etalónu elektrickej kapacity v laboratóriu elektriny, sú prenášané na mnohé referenčné etalóny a etalónové meradlá pre zabezpečenie ďalších fyzikálnych veličín v SMÚ. Je to predovšetkým prenos na meradlá využívané v oblasti akustiky, ionizujúceho žiarenia, tlaku ako aj iné laboratória. Odhadujeme, že na prenos hodnôt stupnice elektrickej kapacity

pre iné laboratória v SMÚ, ktoré v mnohých prípadoch majú etalóny vo funkcii národných etalónov, by bolo potrebné ročne vynaložiť minimálne 1500 Eur.

Ak zvažíme, že referenčné a pracovné etalóny elektrickej kapacity, na ktoré sú prenesené hodnoty z národného etalónu elektrickej kapacity, sú ďalej používané pri prenose hodnôt elektrickej kapacity do priemyselnej sféry, je jasná potreba zabezpečenia tejto veličiny na úrovni národného etalónu.

Naviac pritom je potrebné zvažiť, že tak v SMÚ ako aj metrologických laboratóriách sú ceny za kalibráciu meradiel ešte stále nižšie ako v mnohých iných zahraničných metrologických inštitúciách, pričom odlišnosť uvádzaných neistôt merania je zanedbateľná.

Tým je jasne dokumentovaná potreba uchovať etalón elektrickej kapacity SMÚ vo funkcii národného etalóna a navyše intenzívne pracovať na inovácii niektorých jeho častí najmä rozšíriť meranie aj do vyšších frekvencií. Pre 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, zabezpečovať metrologickú nadväznosť meradiel na národnej úrovni a dodržiavanie jednotnosti a správnosti merania v jednotlivých štátoch únie kontrolovať medzinárodnými porovnaniami.

## 2. Podrobný popis NE elektrickej kapacity a s ním spojených zariadení .

Zostavu národného etalóna tvoria:

a) *etalóny a zariadenia slúžiace na realizáciu a uchovávanie jednotky elektrickej kapacity*, ktoré obsahujú:

- základnú skupinu etalónov, tvoriacu národný skupinový etalón, obsahujúcu dva etalóny kondenzátorov nominálnej hodnoty 10 pF,
- kapacitný most fy General Radio Comp., typ GR 1621,
- meracia zostava na meranie elektrickej kapacity od firmy Andeen Hagerling, typ AH 2700 A výr. č.: 00700201
- náhradnú skupinu etalónov obsahujúcu dva etalóny kondenzátorov nominálnej hodnoty 10 pF,
- pomocné zariadenia.

b) *etalóny a zariadenia slúžiace na realizáciu stupnice elektrickej kapacity*, ktoré obsahujú:

- skupinu referenčných a nadväzovacích etalónov obsahujúcu desať etalónových kondenzátorov nominálnej hodnoty 100 pF až 10  $\mu$ F,
- kapacitný most fy General Radio Comp, typ GR 1621,
- kapacitný most fy. General Radio Comp, typ GR 1620-A,
- kapacitná dekáda
- pomocné zariadenia.

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

Základné etalóny elektrickej kapacity v SMÚ sú dva kondenzátory menovitej hodnoty 10 pF, s typovým označením GR1408, výrobnými číslami 111 a 112, umiestnené vo vzduchovom termostate, výrobok firmy General Radio Co., USA.

Zostava členov základnej skupiny etalónov, tvoriacich národný skupinový etalón elektrickej kapacity, ktoré reprezentujú jednotku elektrickej kapacity SR je v tab. 1.

Tab. 1

Kondenzátor Výrobné číslo	111	112
<b>Hodnota (pF)</b>	<b>10, 000 042 23</b>	<b>10, 000 574 3</b>
Teplotný súčiniteľ 18-28°C (1/K)	5 x10 <sup>-8</sup>	6 x10 <sup>-8</sup>
Typ	GR 1408	GR 1408
Výrobca	fy General Radio	fy General Radio
Rok výroby	1973	1973

Ako etalonážne zariadenie na meranie elektrickej kapacity sa používa meracia zostava na meranie kapacity od fy General Radio Comp., typ GR 1621. Pozostáva z presného mostíka, detektora a oscilátora. Základnou časťou zostavy je transformátorový mostík, typ GR 1616, s pomerovými ramenami, ktorého rozlišovacia schopnosť je 0,1 aF. K dosiahnutiu tejto rozlišovacej schopnosti prispieva aj to, že pomerový transformátor môže pracovať pri napätí až 160V a frekvencii 1kHz, pričom pri prepínaní rozsahu sa vnútorné porovnávacie etalóny odpojujú. Tým sa na vstupe detektora znižuje kapacita voči zemi. Ďalej do zostavy národného etalónu bol zaradený nový kapacitný most od firmy Andeen Hagerling, typ AH 2700 A vyr. č.: 00700201, ktorý spĺňa tie najprísnejšie kritéria merania elektrickej kapacity.

## 2.2 Opis etalónov a zariadení slúžiacich na realizáciu stupnice elektrickej kapacity

Od základnej hodnoty kapacity 10pF uchovávanéj pomocou kondenzátorov s kremenným dielektrikom sú v SMÚ odvodzované hodnoty pracovných etalónov, ktorých zostava je uvedená v tab.č.2.

Tab. 2

Por. č.	Menovitá hodnota	Výrobca	Typ	Rok výroby	Teplotný koeficient	Výr.č.
1	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1404-C	1975	5±2 ppm/°C	2379
2	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1404-C	1975	5±2 ppm/°C	1764
3	<b>100 pF</b>	General Radio Comp.	1404-B	1975	5±2 ppm/°C	2359
4	<b>100 pF</b>	General Radio Comp.	1404-B	1975	5±2 ppm/°C	1982
5	<b>1000 pF</b>	General Radio Comp.	1404-A	1975	2±2 ppm/°C	1824
6	<b>1000 pF</b>	General Radio Comp.	1404-A	1975	2±2 ppm/°C	2578
7	<b>0,01µF</b>	Sullivan Inc.	C1855	1973	10 ppm/°C *)	68171
8	<b>0,01 µF</b>	Sullivan Inc.	C1855	1973	10 ppm/°C *)	68172
9	<b>0,1 µF</b>	Sullivan Inc.	C1802	1973	20 ppm/°C *)	68190
10	<b>1 µF</b>	Sullivan Inc.	C1812	1973	20 ppm/°C *)	731198
11	<b>1 µF</b>	Sullivan Inc.	C1812	1973	20 ppm/°C *)	731200
12	<b>10 µF</b>	General Radio Comp.	1424	1976	50 ppm/°C *)	864

\*) odhadnutá hodnota

Podrobný zoznam etalónov a zariadení používaných pri kalibrácii kondenzátorov je uvedený v tab. 3.

Tab 3

<i>Por. číslo</i>	<i>Názov zariadenia</i>	<i>Základné parametre</i>	<i>Výrobca</i>	<i>Typ</i>	<i>Výrobné číslo</i>	<i>Rok výroby</i>	<i>Periódka kalibrácie</i>
1	<b>Meracia zostava kapacity</b>	<b>10 pF do 10 <math>\mu</math>F</b> $u_c=2 \cdot 10^{-8}$	General Radio Comp.	GR 1621	<b>102/116/12</b>	1974	Kalibrácia 1x / 5rokov
2	<b>Meracia zostava kapacity</b>	<b>10 aF do 1,11 <math>\mu</math>F</b> $u_c=2 \cdot 10^{-4}$	General Radio Comp.	GR 1620 A	<b>2049</b>	1978	Kalibrácia 1x / 5rokov
3	<b>Kapacitný most</b>		Andeen Hagerling	AH 2700 A	<b>00700201</b>	20xx	Kalibrácia 1x / 5rokov
4	<b>Národný etalón kapacity</b>	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1408	<b>111</b>	1974	Kalibrácia 1x / 4roky
5	<b>Národný etalón kapacity</b>	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1408	<b>112</b>	1974	Kalibrácia 1x / 4roky
6	Etalón kapacity	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1404-C	<b>2379</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky
7	Etalón kapacity	<b>10 pF</b>	General Radio Comp.	1404-C	<b>1764</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky
8	Etalón kapacity	<b>100 pF</b>	General Radio Comp.	1404-B	<b>2359</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky
9	Etalón kapacity	<b>100 pF</b>	General Radio Comp.	1404-B	<b>1982</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky
10	Etalón kapacity	<b>1000 pF</b>	General Radio Comp.	1404-A	<b>1824</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky
11	Etalón kapacity	<b>1000 pF</b>	General Radio Comp.	1404-A	<b>2578</b>	1975	Kalibrácia 1 x / 2roky

12	Etalón kapacity	<b>0,01 <math>\mu\text{F}</math></b>	Sullivan Inc.	C1855	<b>68171</b>	1973	Kalibrácia 1 x / 2roky
13	Etalón kapacity	<b>0,01 <math>\mu\text{F}</math></b>	Sullivan Inc.	C1855	<b>68172</b>	1973	Kalibrácia 1 x / 2roky
14	Etalón kapacity	<b>0,1 <math>\mu\text{F}</math></b>	Sullivan Inc.	C1802	<b>68190</b>	1973	Kalibrácia 1 x / 2roky
15	Etalón kapacity	<b>1 <math>\mu\text{F}</math></b>	Sullivan Inc.	C1812	<b>731198</b>	1973	Kalibrácia 1 x / 2roky
16	Etalón kapacity	<b>1 <math>\mu\text{F}</math></b>	Sullivan Inc.	C1812	<b>731200</b>	1973	Kalibrácia 1 x / 2roky
17	Etalón kapacity	<b>10 <math>\mu\text{F}</math></b>	General Radio Comp.	1424	<b>731200</b>	864	Kalibrácia 1 x / 2roky

Tab. 4 Pomocné meradlá a zariadenia používané pri kalibrácii mier elektrickej kapacity

<i>Por. číslo</i>	<i>Názov zariadenia</i>	<i>Základné parametre</i>	<i>Výrobca</i>	<i>Výrobné číslo</i>	<i>Rok výroby</i>	<i>Periódka kalibrácie</i>
1	<b>Vzduchový termostat</b>	(26±0,05)°C,	SMÚ	Inv.č.: II – 20 798	1982	Kalibrácia 1x / 5rokov
2	<b>Sklenené teplomery rozlíšenie 1/100 °C</b>	(15 až 21) °C (18 až 24) °C (21 až 27) °C	Sklárne Žel. Brod		1985	Kalibrácia 1 x / 2roky
3	<b>Teplomer s vlhkomerom</b>	(0 až 50) °C (0 až 80) %	Temp Tech	Inv.č.: 01-241	1999	Kalibrácia 1 x / 2roky

### 3. Špecifikácia metrologických vlastností národného etalóna elektrickej kapacity

Referenčné kondenzátory boli dodané od výrobcu s kalibračnými certifikátmi z apríla 1972 s hodnotami, ktoré sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2.



Kondenzátor Výrobné číslo	111	112
<b>Hodnota (pF)</b>	<b>10,000 012</b>	<b>9,999 990</b>
Teplotný súčiniteľ 18-28°C (1/K)	12,8x10 <sup>-6</sup>	12,3x10 <sup>-6</sup>

V priebehu rokov 1973 a 1974 sa pri porovnaní týchto kondenzátorov v SMÚ zistilo, že ich hodnoty sa rozchádzajú viac ako pripúšťa výrobca. Zistené zmeny prekračovali výrobcom udávanú hodnotu 3σ. Po reklamácií u výrobcu boli kondenzátory nahradené inými a vrátili sa začiatkom roka 1975 s kalibračnými certifikátmi z januára 1975 s hodnotami, ktoré sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3.

Kondenzátor Výrobné číslo	111	112
<b>Hodnota (pF)</b>	<b>10,000 019</b>	<b>10,000 561</b>
Teplotný súčiniteľ 18-28°C (1/K)	12,8x10 <sup>-6</sup>	11,5x10 <sup>-6</sup>

V nasledujúcich rokoch podľa sledovaní v SMÚ sa kondenzátory ustálili a následne sa stali základnými etalónmi SMÚ.

#### 4. Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní.

Výskum v oblasti rozvoja etalónov kapacity v bývalom ČSMÚ a následne v SMÚ bol zameraný na tri oblasti, a to:

- realizáciu prvotného a porovnávacieho etalónu elektrickej kapacity na báze kremenného dielektrika [1],
- zníženie chýb meracích zariadení a následná analýza chýb týchto zariadení zameraných aj na tvorbu stupnice elektrickej kapacity pomocou pomerových meraní [2],
- sledovanie stálosti hodnôt etalónov a to tak pre uchovávanú jednotku na úrovni 10 pF ako aj celú stupnicu elektrickej kapacity [3], [4].

V období rokov 1974 až 1978, kedy boli zakúpené od firmy GR dnes základné etalóny 10 pF s kremenným dielektrikom, bola v ČSMÚ v spolupráci s pracovníkom Tesly Brno riešená výskumná úloha na realizovanie analogických etalónov [1]. Úloha mala cieľ rozšíriť počet členov základnej skupiny 10 pF a zároveň vytvoriť zálohu dobrých kondenzátorov vhodných aj na medzinárodné porovnanie. Počiatočné úspechy pri realizácii narazili na technologické problémy. Najväčšími sa ukázalo byť kvalitné pokovenie dielektrika a zabezpečenie čistého neagresívneho prostredia tak pre montáž ako aj justáciu. Ďalšími bola výroba dokonalých krytov, ktoré by zabezpečili dlhodobú hermetizáciu zhotovených kondenzátorov. Z prvej sady týchto kondenzátorov, ktoré pri zhotovení javili prijateľné metrologické parametre, nezostal po niekoľkoročnom sledovaní ani jeden kondenzátor vhodný pre metrologiu na najvyššej úrovni. Analýza závad, ktorá bola spojená s otváraním kondenzátorov, potvrdila buď nečistoty včítane vlhkosti vo vnútornom priestore resp. nehermetičnosť krytov. V deväťdesiatych rokoch sa opäť venovala pozornosť problematike

týchto kondenzátorov. Niektoré boli demontované očistené a nahradené novými pokovenými kremeňami a uzavreté. Z piatich takto prerobených kondenzátorov však bohužiaľ ani jeden nedosiahol parametre, ktoré by nám umožnili jeho zaradenie do základnej skupiny resp. použitie vo funkcii porovnávacích etalónov. S týmito kondenzátormi sa v budúcnosti počíta len pre činnosti v súvislosti s kalibračnou činnosťou pre zákazníkov.

Výskum zameraný na zostavy na meranie kapacity bol orientovaný na zníženie chýb týchto zariadení a následne na ich analýzu, a to tak v súvislosti s metódami používanými na priame porovnanie ako aj na pomerové merania pri tvorbe stupnice elektrickej kapacity [2].

Prvou problematikou, ktorá bola v tejto oblasti riešená bolo *odstránenie teplotnej závislosti mostíka GR 1616* v meracej zostave GR 1621. Úprava sa týkala termostatizácie vnútorných etalónových kondenzátorov. Prakticky išlo o doplnenie tieniaceho krytu týchto kondenzátorov o termostat. Realizácia termostatu vychádzala z požiadavky zabezpečiť plynulé vykurovanie jednosmerným prúdom, keďže striedavý prúd alebo spínacie procesy by mohli spôsobovať rušenie pri meraní. Termostatizácia predpokladala dosiahnuť ustálený stav pri teplote vyššej od očakávanej najvyššej teploty okolia. Dôležitý parameter, ktorý sa mal dosiahnuť, bola stabilita teploty vnútorných etalónov, ktorá mala byť aspoň v priebehu jedného cyklu meraní (minimálne 1 hodina) zaručená na úrovni niekoľko stotín °C. Aby sa dosiahlo rovnomerné vyhrievanie krytu vnútorných etalónov, boli použité ako vyhrievacie prvky dosky plošného spoja s vyleptaným odporovým meandrom. V regulačnom obvode bol ako snímač použitý perličkový termistor NR 08 A/10 k, ktorý bol nalepený na tieniaci kryt etalónov. Ten bol zapojený do Wheatstoneovho mostíka. Napätie mostíka úmerné rozdielu stabilizačnej a skutočnej teploty je vedené na vstup operačného zosilňovača, ktorý riadi vyhrievací prúd. Stabilizačná teplota bola v prvej etape volená približne 23 °C, neskôr s ohľadom na zistenú zvýšenú teplotu okolia na 23 °C, bola zvýšená na cca 26 °C. Podrobnosti o riešení sú uvedené v literatúre [2 časť D]. Vplyv stabilizácie teploty bol dlhodobou kontrolovaný. Sledovania ukázali, že termostatizácia umožnila skrátiť dobu zapnutia mostíka pred meraním z 36 hodín na 6 hodín. Kontrola vplyvu zmeny okolitej teploty na hodnotu vnútorných etalónov potvrdila, že ich termostatizácia znížila vplyv zmien okolitej teploty na hodnoty kapacity etalónov minimálne dvadsaťkrát. Kontrola sa robila pomocou vnútorného etalónu hodnoty 100 pF, ktorého teplotný súčiniteľ sme poznali. Z jeho sledovaní pri meniacich sa podmienkach okolia bolo opakovane potvrdené, že zmeny okolia do  $\pm 0,5$  °C sa prenášajú na zmenu hodnoty kapacity tohto etalónu odpovedajúcu zmenám teploty cca 0,02 °C. Vychádzajúc z toho bolo možné v pozitívnom smere upraviť zložku neistoty mosta spôsobenú zmenami hodnôt kapacít vnútorných etalónov, vyvolaných ich nedostatočne stálou teplotou.

Druhou oblasťou, ktorej bola z hľadiska meracích zariadení venovaná výrazná pozornosť, bolo odvodzovanie desiatkových násobkov 10 pF. Na tieto práce sa v SMÚ používa zostava GR 1621. Pri určovaní neistôt sa vychádzalo z prác, pri ktorých boli sledované chyby mostíkového transformátora. Tieto na základe vlastnej kontroly ako aj porovnaním s oddelením napätia, prúdu a výkonu SMÚ potvrdili, že pre pomer 1:1 pomerné chyby súfáznej zložky pri 1 kHz neprekračujú  $5 \times 10^{-7}$  a pre pomer 1:10 (používaný pri tvorbe stupnice kapacity) neprekračujú  $1 \times 10^{-6}$ . V prípade tvorby stupnice sa mimo neistoty pomeru môžu uplatniť ďalšie zložky (okrem neistôt vlastných porovnávaných kondenzátorov), a to neistota spôsobená zaťažením transformátora, úbytky na privodných vodičoch kondenzátorov, neistota spôsobená zmenou kapacity naprázdno a samozrejme neistota spôsobená náhodnými rušivými vplyvmi. V snahe potvrdiť tieto úvahy a zároveň potvrdiť, že základná neistota pomeru kapacitného mostíka je pod zistenou hodnotou, použili sme zapojenie, ktorého prvky boli v SMÚ realizované. Na kontrolu sa využil presný indukčný delič typ GR 1493 A, ktorého relatívna súfázna chyba je menšia ako  $1 \times 10^{-7}$  a relatívna chyba kolmej zložky menšia ako  $6 \times 10^{-7}$ . Tento sa použil ako referenčný a voči nemu, pomocou špeciálnych obvodov

s možnosťou prídavných napätí, sa porovnali napätia na svorkách, ku ktorým sú pripojené porovnávané kondenzátory. Prídavné obvody prostredníctvom RC člena napájaného samostatne pre súfázu a kolmú zložku vytvárajú doplnkové napätia, ktoré umožňujú kompenzovať rozdiel potenciálov medzi svorkami porovnávaných kondenzátorov. Po doplnení celého systému o aktívne tienenie napojené na rovnaké potenciály ako aktívne vodiče boli dosiahnuté výsledky, ktoré potvrdili vysokú presnosť mostíka pri pomerových meraniach.

Ďalšou oblasťou, ktorá je z hľadiska presných meraní na mostíku GR 1616 dôležitá, je *dojustovanie vnútorných etalónov mostíka a kontrola linearity*. Toto je súčasťou základných prác na mostíku. Pritom sa vychádza z etalónu 10 pF, ktorého skutočná hodnota je čo najpresnejšie známa. Vychádzajúc z nej sa dojustujú vnútorné etalóny dekád tak, aby meraná hodnota čo najbližšie sa zhodovala so skutočnou hodnotou. V nadväznosti na to sa kontroluje linearita dekád. Všetky presnejšie porovnania na mostíku sa robia až po dojustovaní vnútorných etalónov a kontrole linearity a vyrovnaní kapacity naprázdno.

### Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní

#### *Nadviazanie etalónov v PTB Braunschweig v roku 1979*

Koncom roka 1979 boli základné kapacitné etalóny SMÚ nadviazané na etalóny PTB Braunschweig. Nadviazanie sa realizovalo pri frekvencii 1kHz, napätí 100V a teplote danej zabudovaným termostatom.

Po nadviazaní na Thomsonov-Lampardov kondenzátor PTB, vtedy ešte na nižšej úrovni presnosti, boli etalónom SMÚ priradené nasledujúce hodnoty (tab. č. 5):

Tab. č. 5

<i>Číslo kondenzátora</i>	<b>Hodnota</b>
111	<b>10,000 068 ± 0,000 03 pF</b>
112	<b>10,000 601 ± 0,000 03 pF</b>

#### *Kalibrácia v BIPM Sevres, november 1984*

V novembri 1984 boli etalóny nadviazané v BIPM – Sèvres na etalóny BIPM. Nadviazanie sa realizovalo pomocou cestovných etalónov 10 pF, K01 a K24, zapožičaných na tento účel z Tesly Brno.

Meranie sa realizovalo pri teplote 25,00 °C, pri frekvencii 1592Hz a napätí 100V. Neistota uvádzaná v certifikáte bola 0,3 aF. Po nadviazaní bola v SMÚ urobená korekcia hodnôt na frekvenciu 1kHz a etalónom SMÚ boli priradené nasledujúce hodnoty (tab. č. 6):

Tab. č. 6

<i>Číslo kondenzátora</i>	<b>Hodnota</b>
111	<b>10,000 040 pF</b>
112	<b>10,000 572 pF</b>

### Kalibrácia 10 pF etalónov v PTB Berlín, jún 1996, COOMET

V júni 1996 sa uskutočnila kalibrácia kapacitných etalónov v PTB Berlín, v ktorom participovali aj národné inštitúty združené v Medzinárodnej metrologickej organizácii COOMET a maďarské OMH. Kópie kalibračných certifikátov sú v prílohe ku správe.

Etalóny SMÚ boli na kalibráciu prevezené v pôvodnej skrinke so zabudovaným termostatom. Etalóny boli nadviazané na etalón kapacity PTB - 10 pF (GR1408-A), výrobné číslo 304, pri frekvencii 1 kHz, napätí 90V a teplote danej zabudovaným termostatom. Po nadviazaní boli naším etalónom priradené nasledujúce hodnoty (tab. č. 7):

Tab. č. 7

Číslo kondenzátora	Hodnota
111	<b>10,000 058</b> ( $1 \pm 0,000 04$ %) pF
112	<b>10,000 587</b> ( $1 \pm 0,000 04$ %) pF

### Kalibrácia v BIPM Sevres, november 2004

V júli 2004 boli etalóny nadviazané v BIPM – Sèvres. Nadviazanie sa realizovalo pomocou etalónov SMÚ, ktoré boli na kalibráciu prevezené v pôvodnej skrinke so zabudovaným termostatom.

Meranie sa realizovalo pri frekvencii 1000Hz , teplote 29,71 ° C a napätí 100V.

a pri frekvencii 1592Hz, teplote 29,71 ° C a napätí 100V.

Po nadviazaní boli naším etalónom priradené nasledujúce hodnoty (tab. č. 8):

Tab. č. 8

Číslo kondenzátora	Frekvencia	Hodnota
111	1000 Hz	<b>10,000 038 3</b> pF
	1592 Hz	<b>10,000 037 1</b> pF
112	1000 Hz	<b>10,000 568 2</b> pF
	1592 Hz	<b>10,000 568 2</b> pF

### Kalibrácia v BIPM Sevres, september 2010

V septembri 2010 boli etalóny nadviazané v BIPM – Sèvres. Nadviazanie sa realizovalo pomocou etalónov SMÚ, ktoré boli na kalibráciu prevezené v pôvodnej skrinke so zabudovaným termostatom.

Meranie sa realizovalo pri frekvencii 1592Hz, teplote 29,71 ° C a napätí 100V.

Po nadviazaní boli naším etalónom priradené nasledujúce hodnoty (tab. č. 9):

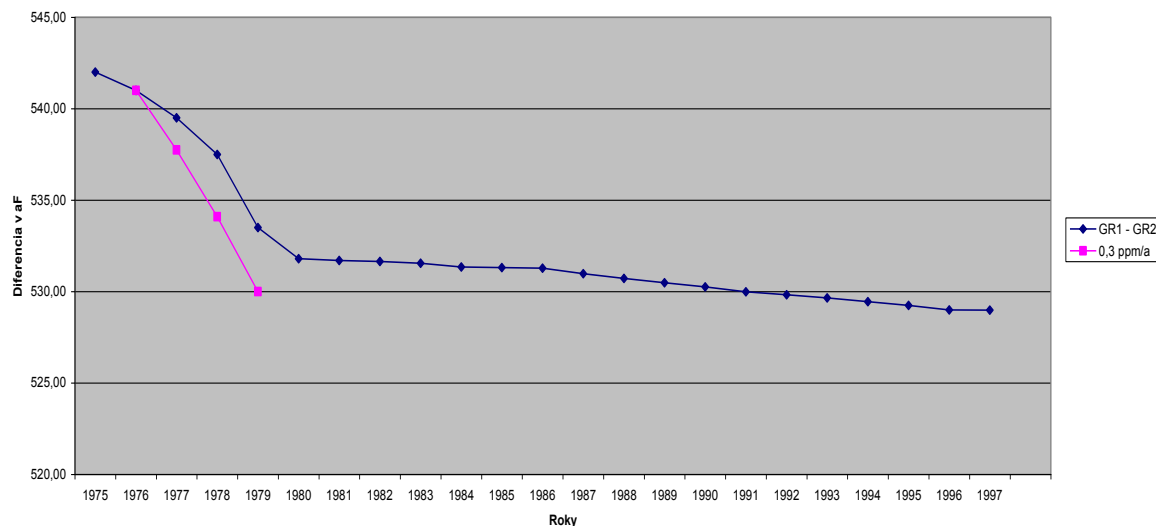
Tab. č. 9

Číslo kondenzátora	Frekvencia	Hodnota
111	1592 Hz	<b>10, 000 042 23</b> pF
112	1592 Hz	<b>10, 000 574 3</b> pF

## Výskum zameraný na sledovanie stálosti jednotky a stupnice elektrickej kapacity

V grafe č. 1 je zobrazený vývoj rozdielu hodnôt základných kondenzátorov GR 112 – GR 111 po ich výmene výrobcom GR.

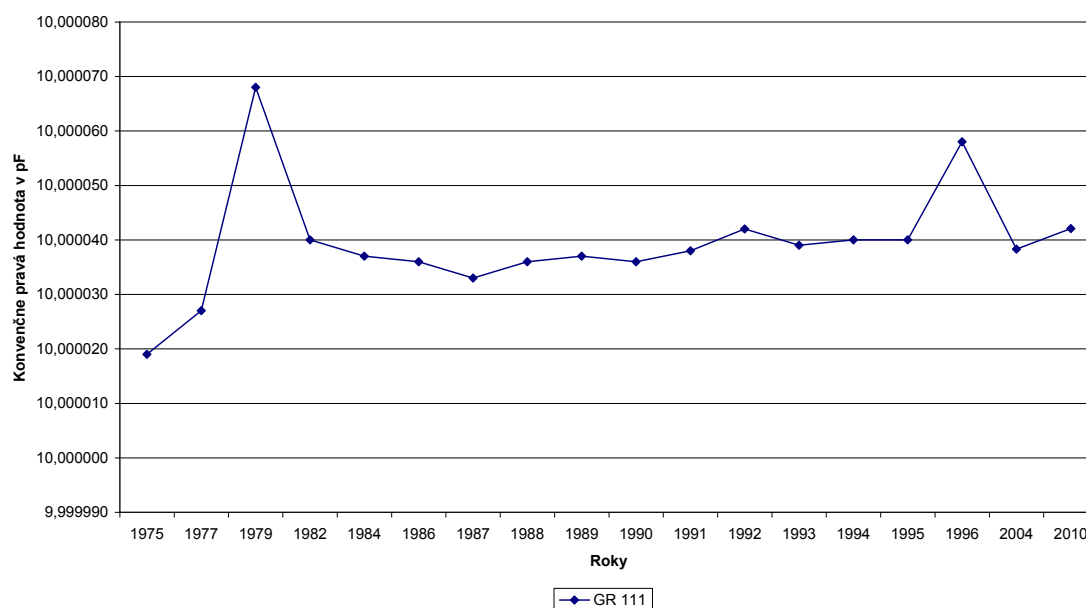
Graf č.1 Priebeh rozdielu hodnôt kapacity kondenzátorov GR111 a GR112 (GR1-GR2)



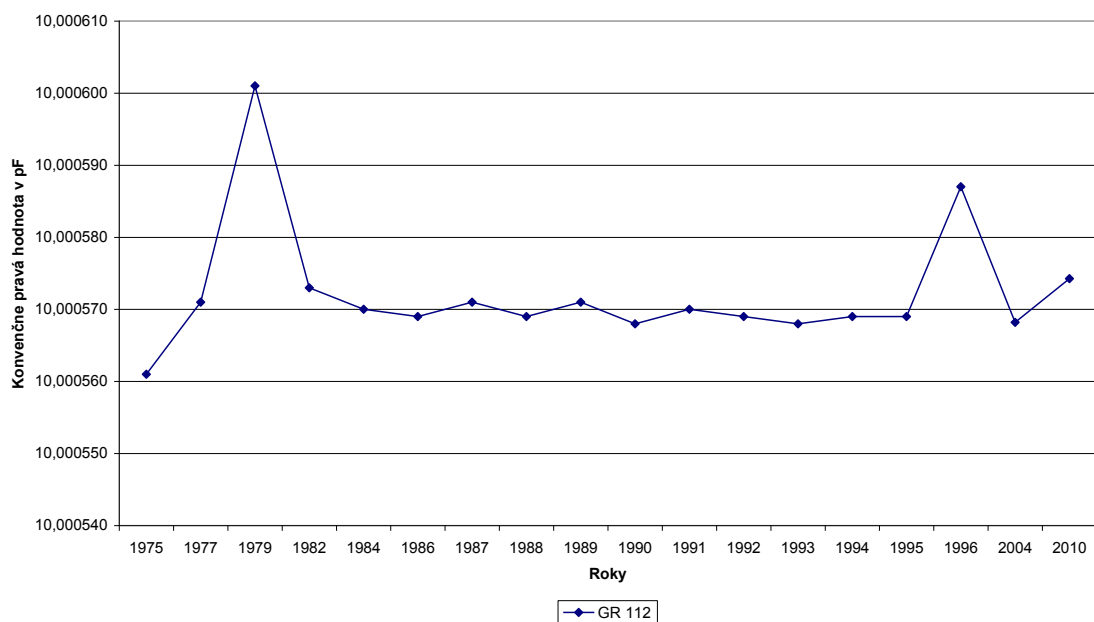
Ako z neho vidieť, po počiatočnom vzájomnom rozkolísaní, ktoré bolo v určitom období až na hranici výrobcom zaručovanej ročnej zmeny 3 aF/a (0,3 ppm/a) došlo k ich vzájomnému ustáleniu. Dnes pri ich priebežnom sledovaní je badateľný pokles ich rozdielu, no v priemere je to na úrovni nižšej ako 0,1 aF/a. To je už na hranici citlivosti meracieho zariadenia aj bez uvažovania ďalších neistôt uplatňujúcich sa pri porovnávaní. Teda o základných etalónoch SMÚ z hľadiska vzájomného vývoja ich hodnôt možno prehlásiť, že ich trend je približne rovnaký.

O vývoji skutočnej hodnoty základných etalónov dávajú predstavu grafy č. 2 a 3.

Graf č. 2 Prehľad vývoja hodnoty kapacity kondenzátora GR 111



Graf č. 3 Prehľad vývoja hodnoty kapacity kondenzátora GR 112



V grafoch z hľadiska medzinárodnej nadväznosti je zohľadnených niekoľko zaujímavostí. Predovšetkým vychádza sa z hodnôt, ktoré boli etalónom v roku 1975 priradené výrobcom GR v nadväznosti na NSL. Medzné chyby pre udávané hodnoty boli limitované  $\pm 3$  ppm (30 aF). Následné priame porovnanie týchto etalónov v roku 1980 v PTB znamenalo zmenu na hodnoty cca o 30 aF vyššie, no opätovne s medznými chybami  $\pm 30$  aF. V tom období ako základná hodnota pre 10 pF bola v ČSMÚ braná stredná hodnota z hodnôt GR a PTB pre obidva etalóny a v ČSMÚ nadväzovaným etalónom bola pripisovaná medzná chyba  $\pm 50$  aF. Následné, ale nepriame nadviazanie bolo v roku 1984, a to v BIPM. Toto bolo robené pri frekvencii 1592 Hz. Po nadviazaní základných etalónov na cestovné a prepočítaní hodnôt na frekvenciu 1 kHz boli etalónom priradené hodnoty blízke pôvodným pred porovnávaním v PTB. Medzi rokom 1984 až 1990 sa uskutočnilo niekoľko menej významných porovnaní v rámci východného bloku. Výsledky najmä s VNIIM potvrdzovali, že hodnota z nadviazania na BIPM sa s určitými malými odklonmi zachováva. V tomto období SMÚ pripisovalo uchovávanej hodnote rozšírenú neistotu  $2 \times 10^{-6}$  (pre  $P=95\%$   $k=2$ ). Až ďalšie porovnanie v rámci COOMET s PTB Berlín, ktorého sa zúčastnil aj VNIIM, pri ktorom sme sa porovnali s hodnotou PTB priamo odvodenou z Thomsonovho-Lampardovho kondenzátora ukázalo, že naša hodnota je o 18 aF nižšia. Rozšírená neistota priradená zisteným hodnotám kondenzátorov bola 4 aF. S ohľadom na to, že tesne pred týmto porovnaním aj VNIIM zvýšil svoju hodnotu približne o 18 aF, pokladali sme to za dostatočný dôvod brať porovnanie v PTB za základ, z ktorého môžeme v ďalšom období vychádzať. Od tohto porovnania sme zvýšili hodnoty základných kondenzátorov o 18 aF.

Stálosť pracovných etalónov zabezpečujúcich stupnicu elektrickej kapacity bola sledovaná v nadväznosti na hodnoty základných etalónov. Stručný prehľad ich vývoja je v tab. č. 7.

Tab. 7

Por. č.	Menovitá hodnota	Výr.č.	Hodnota z atestu od výrobcu	Hodnota z roku 1987	Hodnota z roku 1997
1	<b>10 pF</b>	2379	10,000 05 pF $\pm 5 \times 10^{-6}$	10,000 04 pF $\pm 5 \times 10^{-6}$	10,000 05 pF $\pm 1 \times 10^{-6}$
2	<b>10 pF</b>	1764	10,000 05 pF $\pm 2 \times 10^{-5}$	10,000 05 pF $\pm 5 \times 10^{-6}$	9,999 988 pF $\pm 1 \times 10^{-6}$
3	<b>100 pF</b>	2359	100,000 5 pF $\pm 5 \times 10^{-5}$	100,000 71 pF $\pm 7 \times 10^{-6}$	99,999 28 pF $\pm 3 \times 10^{-6}$
4	<b>100 pF</b>	1982	100,000 5 pF $\pm 2 \times 10^{-6}$	100,001 80 pF $\pm 7 \times 10^{-6}$	100,002 38 pF $\pm 3 \times 10^{-6}$

5	<b>1000 pF</b>	1824	$1\,000,005\text{ pF} \pm 2 \times 10^{-5}$	$1\,000,005\,7\text{ pF} \pm 8 \times 10^{-6}$	$999,999\,9\text{ pF} \pm 7 \times 10^{-6}$
6	<b>1000 pF</b>	2578	$1\,000,005\text{ pF} \pm 5 \times 10^{-6}$	$1\,000,007\,2\text{ pF} \pm 8 \times 10^{-6}$	$1\,000,010\,8\text{ pF} \pm 7 \times 10^{-6}$
7	<b>0,01 <math>\mu\text{F}</math></b>	68171	$9\,998\text{ pF} \pm 1\text{ pF}$	$9\,998,6\text{ pF} \pm 1 \times 10^{-5}$	$9\,998,42\text{ pF} \pm 1 \times 10^{-5}$
8	<b>0,01 <math>\mu\text{F}</math></b>	68172	$9\,997\text{ pF} \pm 1\text{ pF}$	$9\,997,9\text{ pF} \pm 1 \times 10^{-5}$	$9\,998,54\text{ pF} \pm 1 \times 10^{-5}$
9	<b>0,1 <math>\mu\text{F}</math></b>	68190	$99\,992\text{ pF} \pm 10\text{ pF}$	$100\,012\text{ pF} \pm 2 \times 10^{-5}$	$100\,054,3\text{ pF} \pm 2 \times 10^{-5}$
10	<b>1 <math>\mu\text{F}</math></b>	731198	$1,000\,0\text{ \mu\text{F}} \pm 0,1\text{ nF}$	$1,000\,10\text{ \mu\text{F}} \pm 5 \times 10^{-4}$	$1,000\,22\text{ \mu\text{F}} \pm 5 \times 10^{-4}$
11	<b>1 <math>\mu\text{F}</math></b>	731200	$1,000\,0\text{ \mu\text{F}} \pm 0,1\text{ nF}$	$1,000\,11\text{ \mu\text{F}} \pm 5 \times 10^{-4}$	$1,000\,39\text{ \mu\text{F}} \pm 5 \times 10^{-4}$
12	<b>10 <math>\mu\text{F}</math></b>	864	----	$10,010\text{ \mu\text{F}} \pm 5 \times 10^{-3}$	$10,022\text{ \mu\text{F}} \pm 3 \times 10^{-3}$

## 5 Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE elektrickej kapacity

### Umiestnenie NE elektrickej kapacity :

Slovenský metrologický ústav Bratislava,

Centrum 240, laboratórium kapacity, objekt H, lab. č. 156

Laboratórium je umiestnené v miestnosti H 156 a je určené na uchovávanie NE jednotky elektrickej kapacity, ďalej na prenos jednotky na etalónové jednodnotové a viachodnotové kondenzátory, otočné etalónové kondenzátory, kapacitné dekády, laboratórne kapacitné mostíky a RLC mostíky.

### Osoby zodpovedné za NE elektrickej kapacity:

**Ing. Štefan Gašparík** - zodpovedá za technický stav NE elektrickej kapacity zabezpečuje a realizuje rozvoj prístrojového vybavenia NE elektrickej kapacity, realizuje nadviazanie etalónov .

Vykonáva justáž a úpravy etalónových zariadení a kontroluje metrologické parametre meradiel v zostave NE.

Spracúva a vyhodnocuje výsledky meraní.

**Ing. Lubomír Harich** – podľa potreby spolupracuje na činnostiach súvisiacich s uchovávaním jednotky a stupnice elektrickej kapacity.

## 6 Zoznam publikácií o NE elektrickej kapacity

[1] Artbauer, O. a kol.: Výskum a realizácia prvotného a porovnávacieho etalónu elektrickej kapacity.

*Záverečná správa č.1028 vedecko-výskumnej úlohy V72-32/73-76. ČSMÚ. Bratislava 1976,*

[2] Artbauer, O. a kol.: Rozbor merania elektrickej kapacity a odporu.

*Správa č. 1086 ved. výskumnej úlohy V 113-32/76-80. Diel 2. Prílohy. ČSMÚ. Bratislava 1980.*

[3] Harich, L. a kol.: Nové princípy v metrológii elektrického odporu a kapacity.

*Výskum metodiky presného porovnávania etalónov elektrického odporu a elektrickej kapacity. Správa č. 1127 výskumnej úlohy III-7-4/04. ČSMÚ. Bratislava 1982.*

[4] Harich, L. a kol.: Metrologické zabezpečenie primárnej etalonáže elektrického odporu a elektrickej kapacity.

*Správa úlohy štátnej štandardizácie diel ŠŠ 21 č. 2.1/214-84. ČSMÚ. Bratislava 1985.*

[5] Kyjac, V.: Metrológia elektrickej kapacity v SMÚ.

Zaslané na uverejnenie v časopise „Metrológia a skúšobníctvo“

- [6] EAL. EAL Publication Reference EAL-R2.  
*Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. Edition 1. April 1997.*
- [7] TPM 0050-92 Etalóny, Vyjadrovanie chýb a neistôt, 1992.
- [8] TPM 0051-93 Stanovenie neistôt pri meraniach, 1993.
- [9] TPM 2301-94 Schéma nadväznosti meradiel elektrickej kapacity
- [10] ČSMÚ Bratislava, 1984, Pobočka ČSVTS: Zborník prednášok Metrológia elektrického odporu, kapacity a indukčnosti
- [11] Harich Ľ., Progner V., Základy metrológie - Elektrický odpor, kapacita a indukčnosť,  
*Alfa Bratislava 1980*
- [12] General Radio.Instruction manual: type 1621 Capacitance-Measurement System.
- [13] Výskum metód a zariadení na metrologické zabezpečenie primárnej etalonáže elektrickej kapacity,
- [14] Správa pre záverečnú oponentúru č.1219 úlohy rezortného plánu štandardizácie č. R2/21-86,Bratislava, november 1990
- [15] Kyjac V., Harich Ľ., Etalóny elektrickej kapacity – Výsledky výskumu 1998.
- [16] Kyjac V., Slovenský národný etalón elektrickej kapacity – Súhrn správa o etalóne 1998.
- [17] Gašparík, Š.: Základy metrológie elektrickej kapacity. Bratislava 2003. Skriptá. SMU Bratislava.
- [18] Gašparík Š.: Národný etalón elektrickej kapacity. In: Časopis pre elektrotechniku a energetiku, roč.10, 2004, č.1, s.12-13.

## **7 Zoznam dokumentov súvisiacich s NE elektrickej kapacity**

- TPM 2310-98 Referenčné a pracovné etalóny elektrickej kapacity. Technické požiadavky
- TPM 2300-98 Etalóny elektrickej kapacity. Metódy skúšania pri kalibrácii

Vyhláška ÚNMS SR č. 206 o zákonných meracích jednotkách zo 16. júna 2000.

| Vyhláška ÚNMS SR č. 210 o meradlách a metrologickej kontrole zo 16. júna 2000.

- PP č. 17/240/01 Pracovný postup na kalibráciu etalónových kondenzátorov a meradiel kapacity.





## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

**č. 014/10 Revízia 2**

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len "zákon") a na základe posúdenia Súhrnnej správy pre revíziu národného etalónu elektrickej kapacity č. 014 / 10 zo dňa 25.11.2010 potvrdzuje, že všetky podmienky ustanovené v § 1 ods. 1 vyhlášky Úradu pre normalizáciu, metrologiu 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 ELEKTRICKEJ KAPACITY**

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

**Elektrická kapacita, jednotka farad (F),  
v rámci národného etalónu realizovaná  
na hodnote 10 pF.**

**Stupnica, pri frekvencii 1 a 1,6 kHz,  
v rozsahu od 10 pF do 10 μF,**

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Štefan Gašparík**

**Dátum schválenia revízie:**

**12. decembra 2010**

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v Súhrnnej správe o národnom etalóne elektrickej kapacity č. 014/10.

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 uchovávaní a používania etalónu.

Certifikát č. 014/10 Revízia 2, nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 014/04 zo dňa 28.10.2004.

V Bratislave, 22.11.2010

Prof. Ing. Durný Rudolf, DrSc.  
generálny riaditeľ

**Nadväznosť:** na základné jednotky SI, na Thomsonov-Lampardov kondenzátor.

### Základné metrologické charakteristiky etalónu:

a) Jednotka Farad – (F) realizovaná na hodnote **10 pF**

- Kombinovaná štandardná neistota:  $u_c = 3,5 \times 10^{-7}$  pri frekvencii 1 kHz

b) Stupnica kapacity pri striedavom elektrickom napätí pri frekvencii 1 kHz  
v rozsahu hodnôt od **10 pF do 10  $\mu$ F**

- Kombinovaná štandardná neistota pre 10 pF:  $u_c = 3,0 \times 10^{-7}$
- Kombinovaná štandardná neistota pre 10  $\mu$ F:  $u_c = 2,8 \times 10^{-4}$

### Zostava etalónu:

- Zostava zariadení pre realizáciu a uchovávanie jednotky elektrickej kapacity na hodnote 10 pF pri frekvencii 1 a 1,6 kHz:
  - základná skupina etalónov, tvoriaca základ národného etalónu, obsahujúca etalóny nominálnej hodnoty 10 pF, nasledujúcich výrobcov a výrobných čísiel:
    - General Radio Company, výr. č.: 111
    - General Radio Company, výr. č.: 112
  - meracia zostava na meranie elektrickej kapacity od firmy General Radio Company, typ GR 1621 výr. č.: 102/116/12
  - meracia zostava na meranie elektrickej kapacity od firmy Andeen Hagerling, typ AH 2700 A výr. č.: 00700201
- Zostava zariadení pre realizáciu stupnice elektrickej kapacity pri frekvencii 1 a 1,6 kHz:
  - skupina referenčných a nadväzovacích etalónov, obsahujúca etalóny nasledujúcich výrobcov a výrobných čísiel:

Por.č	Menovitá hodnota	Výrobca	Typ	Rok výroby	Výr.č.
1	10 pF	General Radio Comp.	1404-C	1975	2379
2	10 pF	General Radio Comp.	1404-C	1975	1764
3	100 pF	GeneralRadioComp.	1404-B	1975	2359
4	100 pF	General Radio Comp.	1404-B	1975	1982
5	1000 pF	General Radio Comp.	1404-A	1975	1824
6	1000 pF	General Radio Comp.	1404-A	1975	2578
7	0,01 $\mu$ F	Sullivan Inc.	C1855	1973	68171
8	0,01 $\mu$ F	Sullivan Inc.	C1855	1973	68172
9	0,1 $\mu$ F	Sullivan Inc.	C1802	1973	68190
10	1 $\mu$ F	Sullivan Inc.	C1812	1973	731198
11	1 $\mu$ F	Sullivan Inc.	C1812	1973	731200
12	10 $\mu$ F	General Radio Comp.	1424	1976	864

- meracia zostava na meranie elektrickej kapacity od firmy General Radio Company, typ GR 1620 - A výr.č.: 2049

**Prehľad odovzdávania hodnoty príslušnej jednotky a jej stupnice na ostatné meradlá:**

Veličina	parameter	minimálna. – maxim. hodnota	relatívna rozšírená neistota (k=2)	metóda
<i>Elektrická kapacita pri frekvencii 1 a 1,6 kHz</i>				
Jednotka farad ( F ) (realizovaná na hodnote 10 pF)	23 °C (20 °C)	10 pF	$5,0 \cdot 10^{-6}$	B
Stupnica	23 °C (20 °C)	10 pF až 1 nF	od $1,0 \cdot 10^{-5}$ do $5,0 \cdot 10^{-6}$	A, B, C,
Stupnica	23 °C (20 °C)	1 nF až 1 $\mu$ F	od $1,0 \cdot 10^{-4}$ do $1,0 \cdot 10^{-5}$	A, B, C,
Stupnica	23 °C (20 °C)	1 $\mu$ F až 10 $\mu$ F	od $5,0 \cdot 10^{-4}$ do $1,0 \cdot 10^{-4}$	B, C,

Metódy: A – priame meranie,  
 B – priame porovnanie pomocou komparátora,  
 C – substitučná metóda merania

**Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:**

- Kalibrácia etalónov v PTB Berlín, jún 1996, v rámci COOMET
- Kalibrácia etalónov v BIPM Sèvres, júl 2004 - CERTIFICATE N°49 a N°50
- Kalibrácia etalónov v BIPM Sèvres, september 2010 - CERTIFICATE N°48 a N°49

**Miesto uchovávania a používania etalónu:**

**Slovenský metrologický ústav**  
**Karloveská 63**  
**BRATISLAVA**  
 Laboratórium elektrickej kapacity  
 Centra elektriny  
 Objekt H, miestnosti č. 156

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

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

## PRAVIDLÁ POUŽÍVANIA A UCHOVÁVANIA ETALÓNU

1. Slovenský národný etalón elektrickej kapacity je umiestnený v Slovenskom metrologickom ústave v laboratóriu elektrickej kapacity. Pozostáva zo skupiny referenčných etalónov elektrickej kapacity (ďalej len referenčné etalóny) nominálnej hodnoty 10 pF, pracovných etalónov elektrickej kapacity (ďalej len pracovné etalóny) menovitých hodnôt 10 pF, 100 pF, 1000 pF, 10 nF, 100 nF, 1  $\mu$ F a 10  $\mu$ F, dvoch etalónových transformátorových mostíkov, ďalej meracia zostava na meranie elektrickej kapacity od firmy Andeen Hagerling, typ AH 2700 A a pomocných zariadení, používaných pri uchovávaní a realizácii jednotky elektrickej kapacity a stupnice pri frekvencii 1kHz,
2. Minimálne 24 hodín pred meraním musí byť v laboratóriu zabezpečené udržiavanie teploty 23 °C s toleranciou  $\pm 0,2$  °C.
3. Referenčné etalóny sú trvale umiestnené na stabilnom pracovnom stole. Pracovné etalóny , keď nie sú používané, musia byť umiestnené na poličkách v odkladacej skrinke v danom laboratóriu .
4. Transformátorové mostíky sú umiestnené na stabilných pracovných stoloch.
5. Referenčné etalóny, pracovné etalóny a transformátorové mostíky nie je dovolené premiestňovať mimo laboratórium elektrickej kapacity bez vedomia garanta etalónu elektrickej kapacity.
6. Referenčné etalóny nominálnej hodnoty 10 pF sa používajú:
  - na uchovávanie a reprodukovanie jednotky elektrickej kapacity platnej pre SR, (vzájomné zistenie rozdielu hodnôt kapacity členov skupiny sériou 10 meraní dvakrát ročne),
  - na prenos hodnoty na pracovné etalóny (minimálne dve série 10 meraní raz ročne),
7. Transformátorové mostíky je potrebné pravidelne ošetrovať. Ich údržba a ošetrovanie pozostáva:
  - z čistenia a premazania kontaktných dráh dekádových prepínačov a prepínačov rozsahov (raz ročne),
  - z opakovaných kalibrácií (pred každým meraním, minimálne dva razy ročne ).
8. Pomocné zariadenia používané v oblasti jednotky elektrickej kapacity sa pravidelne kontrolujú resp kalibrujú podľa nasledujúcich pravidiel:
  - hygrograf, termograf kalibrácia 1x za 3 roky,
  - sklenené teploměry s rozlíšením 1/100 °C kalibrácia 1x za 3 roky  
v lab. teploty,Kalibrácia pomocných zariadení: v laboratóriu - podľa interných postupov, mimo laboratória - (teplomery, atď) podľa kalibračných postupov používaných v príslušných laboratóriách SMÚ.
9. Všetky činnosti súvisiace s etalónmi a zariadeniami z oblasti jednotky elektrickej kapacity sa evidujú v denníku jednotky elektrickej kapacity.
10. Referenčné etalóny menovitých hodnôt 10 pF sa kalibrujú nadviazaním na etalón vyššieho rádu v zahraničí každé 3 roky.

11. Pracovné etalóny sa kalibrujú podľa platnej schémy nadväznosti pomocou príslušného transformátorového mostíka pri frekvencii 1 kHz. Ich nadväznosť na jednotku 10 pF prostredníctvom príslušného meracieho reťazca je realizovaná minimálne raz ročne.
12. Etalónové zariadenia, ktoré sú v oblasti tvorby stupnice elektrickej kapacity používané a vyžadujú pravidelnú kalibráciu.
13. S etalónmi a etalónovými zariadeniami patriacimi do oblasti národného etalónu elektrickej kapacity môže pracovať len garant etalónu, subgarant etalónu resp. osoba na činnosť s národným etalónom zaškolená a s povolením vedeckého garanta etalónu.
14. V kompetencii garanta etalónu v prípadnej súčinnosti so subgarantom je vymeniť časti etalónu, ktorých zmena neovplyvní parametre etalónu uvádzané v správe. Po zvážení a analýze môže garant etalónu 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.
15. 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.

## PRÍLOHA B

### ZOZNAM METROLOGICKÝCH A TECHNICKÝCH PREDPISOV

- STN 01 0115 Názvoslovie v metrológii.
- STN 01 0130 Zákonné meracie jednotky.
- STN 01 0104 Názvoslovie v metrológii.
- TPM 2301-94 Schéma nadväznosti meradiel elektrickej kapacity.
- TPM 2310-97 Referenčné a pracovné etalóny elektrickej kapacity. Technické požiadavky.
- TPM 0050-92 Etalóny. Vyjadrovanie chýb a neistôt.
- TPM 0051-93 Stanovenie neistôt pri meraniach.
- Guide to the expression of uncertainty in measurement. BIPM, ISO, OIML, .. , ISO 1993.
- Vyhláška ÚNMS SR č. 206 o zákonných meracích jednotkách zo 16. júna 2000.
- Vyhláška ÚNMS SR č. 210 o meradlách a metrologickej kontrole zo 16. júna 2000.
- PP č. 17/240/01 Pracovný postup na kalibráciu etalónových kondenzátorov a meradiel kapacity.