

# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 003/97 Národný etalón hmotnosti

**Osoba zodpovedná  
za národný etalón:** Ing. Robert Spurný, PhD.

**Správu vypracoval:** Ing. Robert Spurný, PhD.  
PharmDr. Jana Bičárová

**Bratislava, december 2010**

## **OBSAH**

### **SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE HMOTNOSTI**

1	Technicko ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE hmotnosti	3
2	Podrobný popis NE hmotnosti a s ním spojených zariadení	6
3	Špecifikácia metrologických vlastností národného etalónu hmotnosti	8
4	Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní.	10
5	Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE hmotnosti	15
6	Zoznam publikácií o NE hmotnosti	16
7	Zoznam dokumentov súvisiacich s NE hmotnosti	19
príloha 1	Certifikát NE hmotnosti, 2010	20
príloha 2	Certifikát NE hmotnosti, 2004	24
príloha 3	Certifikát NE hmotnosti, 2002	27
príloha 4	Pravidlá používania a uchovávanía NE hmotnosti	30
príloha 5	Nová definícia jednotky hmotnosti	42

## **Názov etalónu : Národný etalón hmotnosti NE 003/97**

Forma a dátum vyhlásenia etalónu : Osvedčenie o národnom etalóne pod číslom 003/97 zo dňa 30.12.1997 vydané UNMS SR v Bratislave , certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom (certifikát č. 003/02, 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. Robert Spurný, PhD.**

### **1 Technicko ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE hmotnosti**

Metrológia hmotnosti má v systéme nadväznosti a kalibrácie meradiel každého štátu - resp. metrologického ústavu štátu - významné postavenie, vyplývajúce najmä z troch skutočností

1. Hodnota jednotky hmotnosti 1 kg je určená ako hmotnosť medzinárodného platino-irídiového (PtIr) prototypu kilogramu, ktorý je uložený v Medzinárodnom Úrade pre Váhy a Miery (BIPM) v Sevres. Hodnotu jedného kilogramu "presne" má teda iba jeden etalón, od ktorého sa odvádza celá kalibrácia etalónov a meranie v praxi.

2. Meranie hmotnosti patrí k veľmi presným (relatívna neistota merania dosahuje  $10^{-9}$  až  $10^{-10}$ ) a rozšíreným meraniam. Rozsah merania hmotnosti na Slovensku sa pohybuje od  $10^{-7}$  g do 150 ton, pričom meradlá hmotnosti v praxi (výskum, výroba, obchod) sa delia do 5 tried presnosti.

3. Hmotnosť, ako základná fyzikálna veličina sústavy SI, sa priamo podieľa na odvodení a realizácii hodnôt ďalších fyzikálnych veličín (tlak, hustota, sila, prietok, veličiny fyzikálnej chémie) a limituje presnosť ich merania.

Uvedené skutočnosti (najmä rozšírenosť merania a potreba uchovávanía PtIr etalónov) viedli k vzniku mnohostupňovej schémy nadväznosti , ktorá vychádzajúc zo základného bodu stupnice (etalón hmotnosti 1 kg) určuje spôsob zabezpečenia jednotnosti a správnosti merania hmotnosti v celom používanom rozsahu a na všetkých rádoch sekundárnych etalónov a na všetkých triedach presnosti pracovných meradiel. Pretože každé nadväzovanie etalónov nižších rádoov na etalóny vyšších rádoov, resp. overovanie pracovných meradiel pomocou etalónov predstavuje niekoľkonásobné zvýšenie neistoty stanovenej hodnoty hmotnosti, je potrebné, aby najmä práce pri kalibrácii NE hmotnosti (t.j. prenos jednotky hmotnosti z PtIr etalónov na oceľové etalóny a realizácia stupnice hmotnosti v rozsahu 1 mg až 100 kg) boli vykonané s najvyššou dosažitelnou presnosťou.

V SMÚ Bratislava sa preto metrológii hmotnosti venuje náležitá pozornosť, výsledkom ktorej je prístrojové vybavenie laboratória hmotnosti SMÚ na úrovni iných metrologicky vyspelých štátov.

Jednou zo základných úloh SMÚ definovaných 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 rádoov na etalóny SMÚ.

Pre národný etalón hmotnosti z toho vyplýva v zmysle STN 177805 ( Závažia s hmotnosťou do 50 kg ) a Schémy nadväznosti meradiel hmotnosti , požiadavka realizácie stupnice hmotnosti v rozsahu 1 mg až 50 kg a jej odovzdanie na etalóny Ia. a I. rádu.

Stupnice hmotnosti všetkých štátov sú odvodené z hodnoty hmotnosti ocelových sekundárnych etalónov 1 kg, ktoré sa nadväzujú na PtIr (národné) primárne etalóny, kalibrované v BIPM Sevres. Slovensko takto tiež dostáva z BIPM Sevres jednotku hmotnosti - pravidelným rekalirovaním PtIr etalónov číslo 65 a 41. Z hodnoty týchto etalónov, teda z jedného bodu stupnice sa realizuje celá v praxi používaná stupnica hmotnosti v rozsahu 1 mg až stovky ton. Úlohou národného etalónu v tomto procese je prenesenie hodnoty jednotky hmotnosti z PtIr primárnych etalónov (ktoré majú najvyššie metrologické parametre) na ocelové sekundárne etalóny 1 kg používané v praxi a pomocou týchto etalónov realizovať stupnicu hmotnosti v potrebnom rozsahu.

Pre splnenie tejto úlohy používa SMÚ množstvo etalónových váh rôznej váživosti, etalóny hmotnosti, súpravy etalónov hmotnosti a zariadenia na meranie ovplyvňujúcich veličín a spracovanie meraní.

Pre prenos hodnoty jednotky hmotnosti z PtIr etalónov na ocelové etalóny 1 kg je potrebná realizácia stupnice až po 1 mg, nakoľko citlivosť váh, použitých na nadviazanie ocelových etalónov na PtIr, sa určuje s miligramovými závažiami. Keďže bez týchto miligramových závaží nie je možné nadviazať ocelové etalóny na PtIr, je potrebné aby tieto etalóny boli súčasťou národného etalónu hmotnosti. Hodnota hmotnosti jednotlivých dekád závaží v rozsahu 1 kg až 1 mg sa odvodzuje vždy od závažia najvyššej hmotnosti v dekáde a dekády nižšou hmotnosťou sa kalibrujú postupne podľa vyšších dekád. Pre získanie hodnoty hmotnosti miligramových závaží je preto potrebná kompletná kalibrácia stupnice hmotnosti v uvažovanom rozsahu - je teda prirodzené zaradiť celú stupnicu 1 kg až 1 mg z technických dôvodov do národného etalónu hmotnosti.

Keďže väčšina meraní v obchodnej činnosti sa vykonáva v rozsahu nad 1 kg a preto že je to v súlade s požiadavkami technických predpisov medzinárodných a našich ako aj preto že SMÚ má vybudované príslušné technické podmienky, rozšírili sme rozsah NE hmotnosti do 50 kg.

Národný etalón hmotnosti v rozsahu 1 mg až 50 kg sa používa na prenos stupnice hmotnosti na etalóny nižších rádov a na zabezpečenie metrologie odvodených fyzikálnych veličín bezprostredne závislých na hmotnosti. Medzi tieto veličiny patrí najmä hustota kvapalín a pevných telies (založená na hydrostatickom vážení), hustota plynov (založená na gravimetrickej metóde určenia hustoty), tlak (kalibrácia závaží piestových tlakomerov), prietok kvapalín a plynov (gravimetrická metóda kalibrácie prietokomerov u výrobcov a kalibračných strediskách), sila a moment sily (kalibrácia zaťažovacích telies), etalón látkového množstva.

Na stupnicu hmotnosti transformovanú Laboratóriom hmotnosti a hustoty SMÚ na etalóny hmotnosti Ia. a I. rádu organizácií vykonávajúcich rutinné práce sa nadväzujú ďalšie štyri rády etalónov hmotnosti, Pre klientov sa kalibruje a overuje päť tried presnosti pracovných závaží v rozsahu 1 mg až 20 kg, štyri triedy presnosti pracovných váh s neautomatickou činnosťou, automatické váhy a pásové váhy. V oblasti metrologických služieb SMU vykonáva tzv. kvalifikované služby - teda kalibruje neurčené meradlá a overuje určené meradlá najvyšších tried presností. Ide o etalóny hmotnosti a etalónové váhy používané v gravimetrických zariadeniach, váhy pre najpresnejšie technologické účely, váhy v zdravotníctve a pre váženie drahých kovov. Pomocou etalónov hmotnosti kalibrovaných v SMU je ešte väčšie množstvo váh používaných pre technologické a laboratórne účely kalibrovaných samotnými užívateľmi.

Národný etalón hmotnosti plní svoju funkciu od roku 1997, nadväzujúc na činnosť československého štátneho etalónu hmotnosti vyhláseného roku 1980 (správa č. 3028, Československý štátny etalón hmotnosti, Bratislava 1980).

V zahraničí, na základe výzvy BIPM o intenzifikáciu prác v oblasti hmotnosti s cieľom monitorizácie stability etalónov hmotnosti a určenia novej definície jednotky hmotnosti ako aj pre zníženie neistoty merania hmotnosti a odovzdanie stupnice hmotnosti do praxe s najvyššou možnou presnosťou sa riešia na metrologických pracoviskách nasledovné úlohy :

a, - definícia jednotky hmotnosti . V snahe nahradiť definíciu jednotky hmotnosti , stelesnenú PtIr medzinárodným prototypom hmotnosti (pozri príloha 5), pracuje sa na viacerých možnostiach náhrady kilogramu definíciou založenou na fyzikálnych konštantách, t.j. definíciou umožňujúcou reprodukciu a realizáciu jednotky hmotnosti. Známe sú :

práce na spresnení hodnoty Avogadrovej konštanty, so súčasným zvýšením presnosti merania hustoty a vzdialenosti atómov v mriežke materiálov s pravidelnou kryštálovou štruktúrou. V súvislosti s tým sa realizovala stupnica hustôt založená na báze pevných telies - guľčiek zo silikónového kryštálu, opracovaných s najmenšími dosažiteľnými odchýlkami guľovitosti, ktorých priemer ( odtiaľ objem ) je určený pomocou interferometra a hmotnosť je určená vážením. Hustota na ostatné telesá a kvapaliny sa prenáša hydrostatickým vážením.

práce na spojení mechanických a elektrických veličín meraním elektrického výkonu prúdu (wattové váhy), vytvoreného v cievke zavesenej na závese váh, pohybujúcej sa v magnetickom poli, pričom sila pôsobiaca na cievku sa určuje váhami, rýchlosť pohybu cievky sa meria pomocou interferometra a čítača. Takto mechanicky realizovaný výkon sa porovnáva s výkonom prúdu indukovanom v cievke,

práce na akumulácii materiálu pomocou iónového lúča, za súčasného merania náboja prineseného iónmi na kolektor hromadiaci materiál, pričom hmotnosť akumulovaného materiálu sa určí na váhach, náboj odpovedajúci počtu prinesených jónov sa meria prostredníctvom vybíjacieho prúdu a času. Vyvíja sa dostatočne intenzívny, stabilný , jednozložkový a konvergentný zdroj jónového lúča zlata, ako aj váhy na váženie vo vákuu s relatívnou chybou merania menšou ako  $10^{-10}$ .

b, - problém stability a konzervácie etalónov hmotnosti (výber materiálu a meranie zmeny hmotnosti etalónov pri procese ich čistenia a uskladnenia )

c, - otázka merania hustoty vzduchu na základe merania vztlakových síl pôsobiacich medzi dvomi telesami o známom malom rozdieli hmotností (určenom meraním vo vákuu), veľkom známom rozdieli objemov (určenom hydrostatickým vážením) a malom rozdieli povrchových plôch ( zníženie vplyvu adsorpcie plynov na povrchoch telies pri vážení vo vákuu a vážení vo vzduchu ). Takto sa verifikuje stavová rovnica plynov.

d, - otázka konštrukcie komparátorových váh na pružných závesoch, pracujúcich pri konštantnom zaťažení a pri konštantnej polohe vahadla s elektromagnetickou kompenzáciou zmeny zaťaženia. V BIPM sa skonštruovali dvoj miskové váhy symetrickej konštrukcie so závesmi z berýliového bronzu, ktoré dosahujú relatívnu opakovateľnosť merania takmer  $10^{-12}$ . Vysoká pozornosť sa venuje aplikácii počítačmi riadených meracích procesov bez potreby operátora ( váženie v noci bez obsluhy v podmienkach väčšieho klúdu )

Pri realizácii stupnice hmotnosti používajú metrologické ústavy komparátorové váhy firmy Mettler (Nemecko, Švajčiarsko, Taliansko, Francúzsko, Švédsko, Česká rep.) a firmy Sartorius (Nemecko, Poľsko, Maďarsko, Rusko) ako aj váhy vlastnej výroby (BIPM, Francúzsko, Veľká Británia, Japonsko, USA, Kanada, Čína , Kórea, Rusko, Nemecko ). Dnes vyrábané komparátorové váhy pracujú na princípe konštantného zaťaženia , pri konštantnej polohe vahadla, majú pružné kovové závesy a elektromagnetickú kompenzáciu zaťaženia.

Komparátorové váhy SMÚ použité v zostave NE hmotnosti pracujú na nasledovných princípoch :

1. mechanické dvojbritové váhy pracujúce pri konštantnom zaťažení a bez odpojenia britov od lôžok s mechanizmom na výmenu závaží umožňujúci súčasnú kalibráciu dvoch súprav závaží. Závažia sa vymieňajú pomocou otočného stola v horizontálnej rovine. Takto pra-

cujú hlavné váhy, váhy SMÚ 1 kg a váhy SMÚ 10 kg. Výhodou mechanických dvojbri-  
tových váh vyrobených v SMÚ je skutočnosť, že umožňujú kalibráciu dvoch súprav záva-  
ží (čo znižuje neistoty typu A bez zvýšenia počtu meraní) a naloženie viacerých závaží na  
misku a ich porovnanie s inými závažiami. Túto možnosť nemajú komerčne dostupné vá-  
hy, ktorých najväčším nedostatkom je výmenný mechanizmus závaží na miske.

2. komparátorové váhy na pružných kovových závesoch s elektromagnetickou kompenzá-  
ciou pracujúce pri konštantnom zaťažení a pri konštantnej polohe vahadla a nakladacím  
zariadením a zabudovanými závažiami - referenčnými etalónmi. Váhy majú PID regulátor  
vahadla (meranie rozdielu zaťaženia vahadla ) a regulátor nakladacieho zariadenia udržu-  
júci konštantnú polohu a konštantné zaťaženie vahadla pri výmene závaží, ktorá sa vyko-  
náva vo vertikálnej rovine. Takto sú konštruované váhy SMÚ 100 kg.
3. komerčne dostupné komparátorové elektronické váhy , na pružných kovových závesoch,  
pracujúce na princípe elektromagnetickej kompenzácie zaťaženia. Takto pracujú váhy  
Mettler AX 205, Mettler UMX 5. Mettler AT 1006.
4. automatické zariadenia na kalibráciu súprav závaží s vertikálnou miskou zavesenou pod  
váhami, pričom každé závažie má nakladací mechanizmus riadený počítačom. Počítač  
v zmysle zvolenej schémy merania nakladá príslušné závažia na misku, odčítava údaje  
opakovaných meraní, vyhodnocuje výsledky merania a pripravuje text na certifikát. Takto  
sa používajú váhy Mettler AT 1005, Mettler AT 106, Sartorius CC20, Sartorius CC  
10000S, Mettler KA-30P

## 2. Podrobný popis NE hmotnosti a s ním spojených zariadení .

Zostava národného etalónu hmotnosti obsahuje: etalóny hmotnosti, etalónové váhy  
a automatické zariadenia na kalibráciu závaží, zariadenia na meranie hustoty vzduchu

názov zariadenia	metrologické parametre	invent. číslo
<b>Etalóny hmotnosti</b>		
1 Etalón hmotnosti BIPM 1kg PtIr No 41	$u_c(m) = ( 5 \text{ až } 10) \mu\text{g}, u_c(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	43
2 Etalón hmotnosti BIPM 1 kg PtIr No 65	$u_c(m) = ( 5 \text{ až } 10) \mu\text{g}, u_c(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	112
3 etalóny hmotnosti 1 kg, 02, 04, E1, E2, E5, E6, N1, N2	$u_c(m) = ( 15 \text{ až } 30) \mu\text{g}, u_c(V) \leq 2 \text{ mm}^3$	
4 Súprava závaží jemných 1g-1000g , 02/80	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	4230
5 Etalóny hmotnosti I.a radu, 017	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	6651
6 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1kg-10 kg, 002	$u_c(m) \text{ relat} = (3 \cdot 10^{-8} \text{ až } 2 \cdot 10^{-7})$	6699
7 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1kg -50 kg, P6	$u_c(m) \text{ relat} = (2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 3 \cdot 10^{-7})$	6651
8 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1kg-10 kg, P7	$u_c(m) \text{ relat} = ( 2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 10^{-6})$	6650
9 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1g-500g, E1	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7018
10 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1g-500g, E2	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7019
11 Súprava - ploché etalóny hmotnosti I.a radu, 1g-1kg ,E5	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7104
12 Súprava - ploché etalóny hmotnosti I.a radu, 1g-1kg ,E6	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7105
13 <b>Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a radu, E7</b>	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7339
14 <b>Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a radu, E8</b>	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7340
15 Závažie zlomkové Pt 1	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	46
16 Súprava závaží trieda presnosti E1, 1mg-5kg	$u_c(m) \text{ relat} = ( 10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7666

*Automatické zariadenia s váhami a príslušenstvom*

17	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 20 kg + PC	so = 2 mg	7695
18	Elektron. komp. váhy s terminálom KA-30/P	Max = 32 kg, d = 2 mg, so = 2 mg	7345
19	Zariadenie na kal. súpr. etal. hmot. Auto 10 kg + PC	so = 1 mg	6388
20	Elektron. komparátorové váhy CC10000S	Max = 10 kg, d = 1 mg, so = 1 mg	7602
21	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. váham		7603
22	Kombinovaný prevodník VAISALA PTU303		7614
23	Skriňa pre automat 10 kg		7436
24	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 1000 g + PC	so = 20 µg	6649
25	Váhy Metler AT 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	6605
26	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 100 g + PC	so = 2 µg	6758
27	Váhy komparátorové AT 106	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6645
28	Manipul. zariad. pre mikrováhy Automat 1 g + PC	so = 2 µg	7023
29	Váhy elekt. komp. Sartorius CC20 + PC	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6390
30	Komparátorové váhy AT 1006	Max = 1010 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6807
31	Klimatická stanica na meranie hustoty vzduchu Klimet	0,001 °C, 1 Pa, 1% r.v.	7056
32	Počítač VECTRA VL 5/100		7208

#### *Etalónové váhy*

33	Elektronická mikrováha UMX 5	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7342
34	Váhy SARTORIUS CC10 000 S	Max = 10050 g, d = 0,1 mg, so = 2 mg	7206
35	Analytické váhy AX 205	Max = 205 g, d = 0,01 mg, so = 0,02 mg	7149
36	Váhy etalon. 10 Kg EV 1-10	Max = 10 kg, so = 0,03 mg	5531
37	Elektronické komp váhy s terminálom KC 100	Max = 150 kg, d = 0,05 g, so = 0,1 g	7346
38	Váhy etalon. na podelenie kg EV 1000	Max = 100 kg, so = 1 mg	5867
39	Etalónové váhy SMÚ 100 kg,	Max = 1000 g, so = 0,002 mg	5836
40	Váhy UMX 5+HW vybavenie	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7531
41	Komparátorové etalónové váhy XP26	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7616
42	Komparátorové etalónové váhy AX 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	7664
43	Komparátorové etalónové váhy AX 106 .	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7665
44	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. váhe		7604

#### *Ostatné zariadenia*

45	Digitálny teplomer F 250	d = 0,001 °C	7239
46	Digitálny teplomer F 250 + prepínacia jednotka	d = 0,001 °C	7239
47	Barometer digit. Paroscientific 740-16B	d = 0,1 Pa	6076

#### **Zariadenie na meranie objemov závaží: (súčasť národného etalónu hustoty NE 008/97)**

- Termostatický kúpeľ Tamson TVB70 , inventárne číslo : III - 07158
- Prietokový chladič TLC2 , inventárne číslo : III – 07224
- Analytické váhy Mettler AT 261 , inventárne číslo : III - 06747
- Analytické váhy Mettler H 315 inventárne číslo : III - 04124
- Súprava etalónových závaží , inventárne číslo : II - 14102
- Nakladacie zariadenie so závesmi a miskou inventárne číslo : III- 07157, 07148
- Pt odporový teplomer ASL F250, inventárne číslo : III - 07172

#### **Vzhľadom na zostavu národného etalónu z roku 2004 sa vylúčili nasledovné meradlá**

- Vlhkomer Testo typ 0563, inventárne číslo III 06291

## Vzhľadom na stav z roku 2004 sa do zostavy národného etalónu zaradili nasledovné nové meradlá

Súprava plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E7	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7339
Súprava plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E8	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7340
Sada závažia WghtSet 1mg-5kg E1	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7666
Komparátorová etal. váha XP26		7616
Etalónová váha AX 1005 EL. ANAL. BAL.	Max = 1100 g, d = 0,01 mgm so = 0,02 mg	7664
Etalónová váha AX 106 EL. ANAL. BAL.	Max = 110 g, d = 0,001 mgm so = 0,002 mg	7665
Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. Váhe		7604
Kombinovabý prevodník VAISALA PTU303		7614
Váhy SARTORIUS C 10 000 CC 1000S	Max = 10050 g, d = 0,1 mg. so = 2 mg	7206

### 3. Špecifikácia metrologických vlastností Národného etalónu hmotnosti

Špecifikácia a metrologické vlastnosti vyplývajú z účelu a použitia NE hmotnosti.

NE hmotnosti slúži pre nadviazanie pracovných meradiel hmotnosti a etalónov hmotnosti definovaných v STN 177805 na medzinárodné etalóny, metódami popísanými v TPM 4101 - 94.

Národný etalón hmotnosti tvoria PtIr etalóny hmotnosti 1 kg, súpravy etalónov hmotnosti z nehrdzavejúcej nemagnetickej ocele, komparátorové váhy potrebné na kalibráciu stupnice hmotnosti v rozsahu 1 mg až 50 kg a zariadenie na meranie hustoty vzduchu.

Národný etalón hmotnosti existuje vo vzájomnej súčinnosti s národným etalónom hustoty, pomocou ktorého sa vykonáva kalibrácia objemu etalónov hmotnosti.

Platinovo irídiové etalóny hmotnosti č 41 a č. 65, kalibrované v BIPM Sevres, sa používajú s komparátorovými váhami a so zariadením na meranie hustoty vzduchu na kalibráciu etalónov 1 kg z nehrdzavejúcej nemagnetickej ocele, pomocou ktorých sa na príslušných komparátorových váhach kalibruje stupnica hmotnosti od 1 mg do 50 kg.

Dnes používané komparátorové váhy sú zväčša elektronické komparátorové váhy, kde mierou zmeny zaťaženia misky je zmena intenzity kompenzačného prúdu tečúceho cievkou vahadla uloženou v magnetickom poli permanentného magnetu. Prostredníctvom PID regulátora sa udržiava vahadlo v konštantnej polohe pomocou optického snímača jeho polohy. Komparátorové váhy SMU sú vybavené nakladačím mechanizmom. Tento mechanizmus ako aj váhy sú riadené počítačom, ktorý takto umožňuje – v súčinnosti so zariadením na meranie hustoty vzduchu- úplnú automatizáciu procesu merania a kalibráciu dekády závaží v automatickom režime bez otvorenia skrine váh.

Hustota vzduchu sa určuje podľa stavovej rovnice vlhkého vzduchu na základe merania teploty, tlaku, vlhkosti a obsahu CO<sub>2</sub> vo vzduchu.

Objemy etalónov hmotnosti sa určujú metódou hydrostatického váženia v redestilovanej vode.

#### Základné metrologické parametre :

Rozsah realizácie stupnice hmotnosti : 1 mg až 50 kg. Pri nadviazaní oceľových etalónov hmotnosti 1 kg sa dosahuje kombinovaná štandardná neistota 14 µg.

#### Etalóny hmotnosti



## PtIr etalóny

- PtIr č 41 : Hmotnosť 1 kg + 0.548 mg ,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem  $46.4972 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$
- PtIr č 65 : Hmotnosť 1 kg + 0.208 mg,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$  , objem  $46.4354 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$ , drsnosť povrchu je  $R_a = 0.01 \mu\text{m}$ ,

## Sekundárne etalóny hmotnosti

- rozsah 1 g až 10 kg , kalibrované s relat. neistotou  $10^{-7}$  , austenitická oceľ, označenie : 02-80, 017, E1, E2, E5, E6, P7, 002,
- rozsah 1 mg až 500 mg ( platina ), kalibrované s relat. neistotou  $10^{-7}$  až  $10^{-4}$
- rozsah 10 kg až 50 kg kalibrované s relat. neistotou  $10^{-6}$ , austenitická oceľ , označenie: P6

## Zloženie súprav je

platina PtI:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) mg
E1,E2,017:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) g
E5,E6:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500, 1000) g
02-80:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500, 1000) g
002, P7:	(1, 1, 2, 2, 5, 10) kg
P6:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 50, 50) kg

## Elektronické a mechanické komparátorové váhy:

- Mettler AT 1006, rozsah 999 g až 1011 g,  $d = 0,001 \text{ mg}$ , opakovateľnosť  $0,001 \text{ mg}$
- Mettler AT 1005, AX 1005, rozsah 999 g až 1011 g,  $d = 0,01 \text{ mg}$ , opakovateľnosť  $0,01 \text{ mg}$
- Mettler AT 106, AX 106, rozsah 99 g až 111 g,  $d = 0,001 \text{ mg}$ , opakov.  $0,001 \text{ mg}$
- Mettler UMX5, rozsah 0 g až 5,1 g,  $d = 0,0001 \text{ mg}$ , opakov.  $0,0001 \text{ mg}$
- Mettler AX205, rozsah 0 g až 205 g,  $d = 0,01 \text{ mg}$ , opakov.  $0,01 \text{ mg}$
- Sartorius CC20, rozsah 20 g,  $d = 0,001 \text{ mg}$ , opakovateľnosť  $0,001 \text{ mg}$
- Sartorius CC 10000, rozsah 9995 g - 10 055 g,  $d = 1 \text{ mg}$ , opakov.  $1 \text{ mg}$
- Sartorius CC 10000S, rozsah 9995 g - 10 055 g,  $d = 0,1 \text{ mg}$ , opakov.  $0,2 \text{ mg}$
- Etalónové váhy SMÚ 100 kg : merací rozsah 10 kg až 100 kg , opakov..  $1 \text{ mg}$
- Mechanické etalónové váhy SMÚ váživosti 10 kg : merací rozsah 1 kg až 10 kg, opakovateľnosť  $0,05 \text{ mg}$
- Mechanické etalónové váhy SMÚ váživosti 1 kg : merací rozsah 1 kg až 100 g, opakovateľnosť  $0,002 \text{ mg}$
- Mettler XP26, rozsah 0 g až 20 g,  $d = 0,001 \text{ mg}$ , opakov.  $0,002 \text{ mg}$

#### **Zariadenie na meranie hustoty vzduchu:**

- rozsah 1,1 - 1,3 mg.cm<sup>-3</sup>,  $u_C = 2.5 \cdot 10^{-4}$  mg.cm<sup>-3</sup>

#### **Zariadenie na meranie objemov závaží:**

- rozsah závaží 1 g až 10 kg,  $u_C = 0,1$  mm<sup>3</sup> pre závažia 1 g až 50 g  
 $u_C = 1$  mm<sup>3</sup> pre závažia 100 g až 1 kg  
 $u_C = 10$  mm<sup>3</sup> pre závažia 2 kg až 10 kg

### **4. Prehľad výsledkov výskumu a vývoja a medzinárodných porovnaní, systém kvality.**

#### **Technický stav NE hmotnosti :**

Po vyhlásení štátneho etalónu v roku 1980 v zostave PtIr etalónu č. 41 a Hlavných váh , sa sústredilo úsilie pracovníkov pracujúcich s týmto štátnym etalónom na realizáciu podmienok pre jeho funkčnosť - t.j. pre zostavenie zariadenia na meranie hustoty vzduchu ako nevyhnutného doplnku zostavy štátneho etalónu.

Váhy a etalóny hmotnosti sa používali na najnutnejšie práce pri realizácii stupnice hmotnosti. Zmeny v mechanike a elektronike hlavných váh ( popísané v správach z rokov 82 až 94) neovplyvnili základné parametre váh, ale znížili prácnosť merania a zvýšili spoľahlivosť prístroja. Do roku 1987 sa realizovalo prvé zariadenie na meranie hustoty vzduchu, ktoré bolo neskôr vybavené modernou meracou technikou ( dobudované v roku 1996 ).

PtIr etalón č. 65 ako i PtIr etalón č. 41 je vo vyhovujúcom stave a môže plniť svoju funkciu . Etalónové váhy sa po presťahovaní z P. Biskupíc upravovali - vyhotovila sa nová elektronika otáčania stola, nakladania prívažkov a úplnej aretácie váh. Po týchto operáciách sú váhy v dobrom mechanickom stave a je možné ich použiť.

Pre činnosť NE hmotnosti je potrebné klimatizované laboratórium čo sa tiež zabezpečilo v roku 1996.

V roku 1984 sa uviedli do činnosti etalónové váhy váživosti 10 kg pre kalibráciu súprav závaží v rozsahu 1 kg až 10 kg. Váhy sú mechanické, dvojbritové, jednomiskové netlmené so zabudovanými závažiami a výmenným mechanizmom, ovládané bez otvárania skrine. Váhy pracujú substitučnou metódou váženia, pričom pri výmene závaží na miske , sú brity trvalo v styku s lôžkami pri ich konštantnom zaťažení. Váhy umožňujú súčasnú kalibráciu dvoch súprav závaží.

V roku 1990 sa uviedli do činnosti etalónové váhy váživosti 1 kg , ktorých princíp činnosti je totožný s váhami 10 kg.

V roku 1994 sa uviedli do činnosti etalónové váhy váživosti 100 kg. Sú to váhy s hornou miskou, zabudovanými závažiami a elektromagnetickou kompenzáciou zmeny zaťaženia v rozsahu 50 g. Vahadlo je zavesené na pružných kovových závesoch , je v konštantnej polohe (PID regulátor v kompenzačnom obvode) a pri konštantnom zaťažení (regulátor práce zdvihového mechanizmu). Zmena zaťaženia sa indikuje na digitálnom voltmetri.

V roku 1996 sa doplnil NE hmotnosti o komparátorové váhy 20 g ,Sartorius CC 20

V roku 1998 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler AT 1005.

V roku 1998 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler AT 106.

V roku 1999 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler AT 1006.  
 V roku 2001 sa zakúpil merač hustoty vzduchu Mettler Klimet A30.  
 V roku 2002 sa zakúpili komparátorové váhy Sartorius CC10000.  
 V roku 2002 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler UMX5  
 V roku 2002 sa zakúpil Pt odporový teplomer ASL F 250  
 V roku 2007 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler AX 106  
 V roku 2007 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler AX 1005  
 V roku 2008 sa zakúpili komparátorové váhy Sartorius CC 10000S  
 V roku 2009 sa zakúpili komparátorové váhy Mettler XP26

V roku 1997 sa vyvinul automat na kalibráciu závaží 10 kg až 1 kg.  
 V roku 1998 sa vyvinul automat na kalibráciu závaží 1 kg až 100 g.  
 V roku 1999 sa vyvinul automat na kalibráciu závaží 100 g až 1 g.  
 V roku 2000 sa vyvinul automat na kalibráciu závaží 10 g až 1 mg  
 V roku 2009 sa vyvinul automat na kalibráciu závaží 10 kg až 20 kg

## Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní :

### a, merania BIPM

PtIr etalóny sú kalibrované v intervale 20 rokov v BIPM Sevres. PtIr etalón č. 65 sa zúčastnil tretieho medzinárodného porovnávania PtIr etalónov, kde sa nadviazal na Medzinárodný prototyp.

<i>1 kg PtIr 41</i>	<i>Odchýlka (U)</i>	<i>1 kg PtIr 65</i>	<i>Odchýlka (<math>u_c</math>)</i>
rok 1929	0,504 mg (0,008 mg)	Rok 1982	0,172 mg (0,0023 mg)
rok 1953	0,559 mg (0,008 mg)	Rok 1983	0,196 mg (0,0023 mg)
rok 1975	0,548 mg (0,008 mg)	Rok 1993	0,208 mg (0,0023 mg)
		Rok 2003	0,224 mg (0,005 mg)

V roku 1985 bol porovnaný nadväzovací etalón SMÚ č 02 hmotnosti 1kg v BIPM Sevres, pričom rozdiel hodnoty hmotnosti medzi SMÚ a BIPM bol 0.038 mg pri kombinovanej štandardnej neistote merania 0.04-0.05 mg. Pri meraní v SMÚ bolo  $u_A = 0.0033$  mg,  $u_B = 0.0125$  mg.

V roku 1995 sa SMU zúčastnilo kľúčových meraní organizovaných **CCM pri BIPM na etalónoch 1 kg**. Tieto merania sa vykonali na váhach SMU 1kg v poškodenom stave a výsledok porovnania vykázal rozdiel 0,05 mg od hodnoty BIPM.

V roku 1998 sa vykonalo kľúčové meranie BIPM pre kalibráciu stupnice hmotnosti s názvom **CCM 5 etalónov hmotnosti**. Výsledky SMU v porovnaní s pilotným laboratóriom sú v nasledujúcej tabuľke.

	10 kg	500 g	20 g	2 g	100 mg
PTB	-8,53 mg ±0.12 mg	-0.513 mg ±0.006 mg	-0.0024 mg ±0.0023 mg	-0.0032 mg ±0.0007 mg	-0.0007 mg ±0.0003 mg
SMU	-6,87 mg ±0.86 mg	-0.514 mg ±0.022 mg	-0.0012 mg ±0.0035 mg	-0.0034 mg ±0.0020 mg	-0.0002 mg ±0.001 mg
PTB	-8,49 mg ±0.12 mg	-0.508 mg ±0.006 mg	-0.0024 mg ±0.0023 mg	-0.0023 mg ±0.0007 mg	-0.0014 mg ±0.0003 mg

Kľúčové meranie organizované **CCM-M-K3** BIPM sa uskutočnilo v decembri 2001.

50 kg etalón pilotného laboratória (LNE) sa na váhach SMU 100 kg porovnal s 10 kg a 50 kg etalónmi SMU.

Výsledkom je určenie hmotnosti

$$50\text{LNE} : 50 \text{ kg} + 16,7 \text{ mg} , u_C = 4 \text{ mg},$$

$$50\text{SMU} : 50 \text{ kg} + 9,5 \text{ mg} , u_A = 0,5 \text{ mg}, u_B = 1,5 \text{ mg}.$$

Po vyhodnotení výsledkov merania bola stanovená referenčná hodnota etalónu 50 kg LNE

$$50\text{LNE} : 50 \text{ kg} + 18,0 \text{ mg} , u_C = 4,2 \text{ mg},$$

### Medzinárodné porovnávacie meranie CCM - M – K5 (200 mg až 2 kg)

V roku 2002 sa vykonalo medzinárodné porovnávacie meranie CIPM, organizované NMI Japonsko – projekt **CCM.M-K5** – závažia 2 kg, 200 g, 50 g, 1 g a 200 mg a výsledky sa zaslali pilotnému laboratóriu. Porovnanie s pilotným laboratóriom je v nasledujúcej tabuľke.

CCM M K5 hodnoty SMU a referenčné hodnoty, pilotné laboratórium NMIJ Japonsko, 2005

Nominal value	Marking	SMU Mass value $m$	SMU standard uncert. $u_C$ (mg)	Reference value
2 kg	J1	2000 g + 3,99 mg	0,050 mg	2000 g + 3,885 mg
	J6	2000 g + 0,26 mg	0,050 mg	2000 g + 0,165 mg
200 g	J1	200 g + 0,467 mg	0,0065 mg	200 g + 0,4333 mg
	J6	200 g + 0,041 mg	0,0065 mg	200 g + 0,0217 mg
50 g	J1	50 g + 0,139 mg	0,0028 mg	50 g + 0,1346 mg
	J6	50 g + 0,005 mg	0,0028 mg	50 g + 0,0011 mg
1 g	J1	1 g + 0,0029 mg	0,0008 mg	1 g + 0,0012 mg
	J6	1 g + 0,0009 mg	0,0008 mg	1 g – 0,00048 mg
200 mg	J1	200 mg – 0,0000 mg	0,0007 mg	200 mg + 0,00069 mg
	J6	200 mg – 0,0070 mg	0,0007 mg	200 mg – 0,00263 mg

### b, merania RVHP a Coomet

V roku 1980 sa vykonalo v rámci RVHP porovnávacie meranie nadväzovacích etalónov hmotnosti 1 kg (ocel'). Rozdiel medzi etalónom SMÚ a etalónom ZSSR (etalón RVHP) bol 0.39 mg. ( správa č RVHP 01.752.II-78 )

V roku 1987 sa vykonalo v rámci RVHP ďalšie porovnávacie meranie nadväzovacích etalónov hmotnosti 1 kg. Rozdiel medzi etalónom SMÚ a etalónom ZSSR bol 0,01 mg. (správa č. RVHP 01.753-87).

V roku 2000 sa konalo porovnávacie meranie Coomet projekt č. 127, v ktorom sa porovnávali hodnoty dvoch etalónov 1 kg. Výsledky SMU v porovnaní s hodnotami určenými v BIPM (po meraní Coomet) sú :

	1 kg E4	1 kg E5
SMU	0,285 mg ± 0.015 mg	1,477 mg ± 0.015 mg
BIPM	0,281 mg ± 0.003 mg	1,455 mg ± 0.003 mg

### C, merania Euromet

V roku 1998 sa konalo pod vedením NPL meranie organizované v rámci programu Phare, kde SMU porovnávalo etalóny hmotnosti 5 kg, 1 kg, 1 kg, 200 g, 50 g, 10 g. Výsledky meraní poukazujú na schopnosť SMU kalibrovať etalóny 1a. rádu (OIML E1) - teda najpresnejšie etalóny v sekundárnej etalonáži.

	5 kg	1 kg	1 kg	500 g	200 g	200 g	100 g	10 g	5 g	1 g
*NPL	+12.9 mg ±0,42 mg	-42 µg ±75 µg	+172 µg ±70 µg	+925 µg ±41 µg	+230 µg ±18 µg	+49 µg ±18 µg	+210 µg ± 9 µg	+ 1,6µg ±1,2µg	-1 µg ±0,6g	+9,6 µg ±0,2µg
SMU	+14 mg ±2 mg	+50 µg ±80 µg	+250 µg ±80 µg	+850 µg ±100 µg	+230 µg ±120µg	+60 µg ±120µg	+220 µg ±120µg	+ 6 µg ±30 µg	-12 µg ±20 µg	+ 5 µg ±6 µg
NPL	+12,3 mg ±0,42 mg	-1 µg ±71 µg	+216 µg ±70 µg	+926 µg ±43 µg	+237 µg ±18 µg	+57 µg ±18 µg	+205 µg ± 9 µg	+2,6µg ±1,8µg	+0,6 µg ±1 µg	+9,8 µg ±0,4µg

V roku 2003 sa vykonalo medzinárodné porovnávacie meranie **Euromet projekt 445** – závažia 10 kg, 500 g, 20 g, 2 g, 100 mg. V roku 2003 sa výsledky poslali pilotnému laboratóriu – SP Švédsko.

Závažia projektu 445 sa kalibrovali s nasledovnými etalónmi SMU: P6 10 kg, e1 a e2 (500g až 1 g), PtI a PtIII (500 mg až 100 mg). Kilogramové a miligramové závažia sa merali na manuálne obsluhovaných váhach (SMU 10 kg , Mettler UMX5), závažia od 1 kg do 10 g sa kalibrovali na automaticky pracujúcich váhach Mettler AT 1006.

Výsledky dosiahnuté v SMU a v pilotnom laboratóriu sú v nasledujúcej tabuľke

nominálna hodnota	hmotnosť $m$ určená v SMU	štandardná neistota $u_c$	počet meraní	rozdiel k referenčnej hodnote
10 kg	10 kg – 0,57 mg	0,46 mg	190	0,39 mg
500 g	500 g – 0,082 mg	0,010 mg	840	0,02 mg
20 g	20 g + 0,0041 mg	0,0030 mg	480	0,001 mg
2 g	2 g + 0,0035 mg	0,0017 mg	70	0,0005 mg
100 mg	100 mg – 0,0036 mg	0,0007 mg	94	0,0024 mg

Referenčná hodnota bola stanovená nasledovným spôsobom:

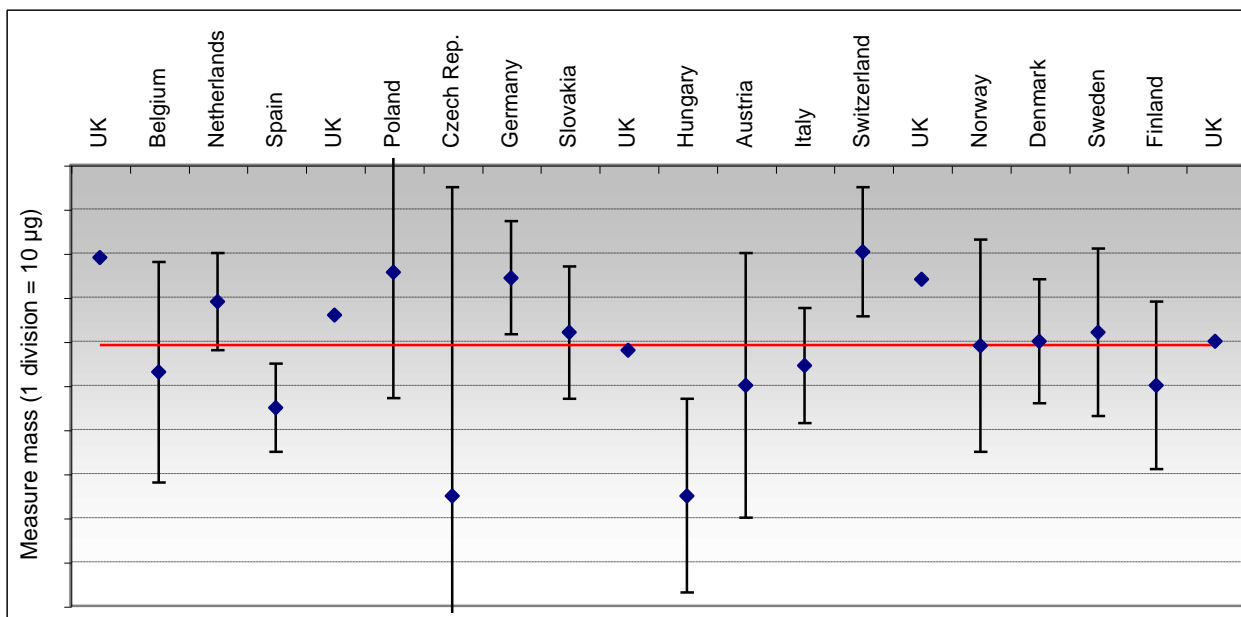
- určili sa rozdiely medzi hodnotou každého laboratória a priemernou hodnotou (pred prvým laboratóriom a po poslednom laboratóriu) pilotného laboratória.
- určil sa medián zo stanovených rozdielov
- za referenčnú hodnotu sa použil medián

V roku 2002 prebehli merania na projekte **Euromet 509** (porovnanie PtIr etalónov 1 kg, označených No55 a No651) a projekte **Euromet 510** (porovnanie ocelových etalónov 1 kg, označených No61 a No61d). Etalóny poskytlo a meranie organizovalo NPL

Odchýlky SMU od referenčných hodnôt sú nasledovné

- 1 kg PtIr No 55: odchýlka –20 µg ,  $u_c = \pm 5 \mu\text{g}$
- 1 kg PtIr No 651: odchýlka –27 µg ,  $u_c = \pm 5 \mu\text{g}$
- 1 kg PtIr No 61: odchýlka +3 µg ,  $u_c = \pm 15 \mu\text{g}$
- 1 kg PtIr No 61d: odchýlka +7 µg ,  $u_c = \pm 15 \mu\text{g}$

Euromet 509 a 510 – v rokoch 2001 až 2003



Výsledky porovnania pre **kilogram 61**

## System kvality

V roku 2002 získal SMU certifikát systému manažérstva kvality podľa ISO 9001: 2000 od certifikačnej spoločnosti LGA Incert s.r.o. Nemecko. LGA vykonáva dohľad v SMU každý rok.

V roku 2003 získalo centrum hmotnosti a tlaku osvedčenie o akreditácii číslo K 044 od SNAS. Laboratórium hmotnosti má akreditovanú kalibráciu závaží v rozsahu 1 mg až 50 kg pre triedy presnosti E1, E2 a F1 podľa OIML R111 a kalibráciu váh 1. a 2. triedy presnosti s neautomatickou činnosťou do 3000 kg. Laboratórium hmotnosti je akreditované pre výskum a vývoj metód merania (laboratórium 3. typu).

Centrum hmotnosti a tlaku bolo odvtedy reakreditované a dva krát bol vykonaný dohľad. Ako auditor pre akreditáciu a reakreditáciu pôsobil Dr. Richard Davis, riaditeľ skupiny hmotnosti BIPM.

Pri poslednej reakreditácii bol rozsah činnosti rozšírený na kalibrácie váh u klientov.

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

### **Umiestnenie NE hmotnosti :**

Slovenský metrologický ústav Bratislava, Centrum 220, laboratórium hmotnosti a hustoty, objekt H, lab. č. 105, 107,104, 109

### **Osoby zodpovedné za NE hmotnosti :**

Ing. Robert Spurný, PhD. - zodpovedá za technický stav NE hmotnosti zabezpečuje a realizuje rozvoj prístrojového vybavenia NE hmotnosti, realizuje nadviazanie oceľových etalónov na PtIr etalóny a stupnicu hmotn. v rozsahu 10 kg až 50 kg.

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

PharmDr. Jana Bičárová - zodpovedá za realizáciu stupnice NE hmotnosti v rozsahu 1 mg až 10 kg . Vykonáva meranie ovplyvňujúcich veličín pri nadviazaní oceľových etalónov na PtIr, spolupracuje pri justáži etalónových váh, spracúva a vyhodnocuje výsledky meraní.

Obsluhuje automatické zariadenia na kalibráciu súprav závaží: automat 1 mg až 10 g, automat 1 g až 100 g, automat 100 g až 1 kg, automat 1 kg až 10 kg. Kalibruje váhy v SMU a u klientov.

Ing. Vladimír Tibenský - vykonáva práce s váhami SMU 100 kg a etalónmi hmotnosti nad 10 kg. Kalibruje váhy v SMU a u klientov.

Ing. Laurenc Snopko – vykonáva vývoj softvéru a hardvéru pre etalónové váhy.

## 6. Zoznam publikácií o NE hmotnosti

### Dokumentácia o NE hmotnosti :

správa č. 3028 , Československý štátny etalón hmotnosti, Bratislava 1980  
správa : Slovenský národný etalón hmotnosti, Bratislava 1997

### publikácie o NE hmotnosti :

1. Spurný R. : Metrologické váhy váživosti 1 kg , ČS standardizace 7, 1982, č 8, str 339 - 346
2. Spurný R. : Určenie hmotnosti nadväzovacích etalónov. ..., ČS standardizace 10, 1985, č. 8, str 331 - 334
3. Spurný R. Bičárová J. : Kalibrácia pracovného etalónu hmotnosti 500 mg - 1 mg, ČS. stand. 14, 1989, č. 4, str 140 - 143
4. Spurný R. : Etalónové váhy ČSMÚ na kalibráciu súprav závaží 1 kg až 10 kg ,
5. ČS standardizace 5/84, str. 201-204
6. Spurný R. : Určenie hmotnosti sekundárnych etalónov I.a rádu v rozsahu 1 kg až 10kg, ČS standardizace 3/86, str. 87-90
7. Spurný, R. , Bičárová J. : Etalónové váhy ČSMÚ pre kalibráciu stupnice hmotnosti v rozsahu 100 g až 1 kg. Jemná mechanika optika 35, 1990, No 2, p.39-42
8. Spurný, R. , Bičárová J. : Kalibrácia stupnice hmotnosti v rozsahu 100 g až 1 kg., Magazin ČSN, 2, 1991, p.44 - 47
9. Priecl I. , Spurný R. : 100 kg etalónové váhy SMÚ , Jemná mechanika a optika, 1995
10. R. Spurný : The Metrological balance for comparison of standards copies to national mass standards, Materiály CCM BIPM, doc. no. CCM/81-22, Paríž 1981
11. R. Spurný : 10 kg standard balance of ČSMÚ and the calibr.of sets of weights , Zborník: X - IMEKO kongres, Praha , apríl 1985, vol.8 str. 182-194
12. R. Spurný : 10 kg standard balance of ČSMÚ for calibration of sets of weights
13. Materiály CCM pri BIPM, doc no CCM/85-28. Paríž 1985
14. R. Spurný : Etalonnnye vesy s naibolšim peredelom vzvešivanija 10 kg. Izmeritelnaja tehnika , 1986, No 2, p - 14-15
15. R. Spurný : 1 kg to 100 g SMÚ standard balance, CCM pri BIPM 1992, balance club .
16. I. Priecl, R. Spurný : 100 kg SMÚ standard balance, zborník zo 14. medzin. konferencie Imeko TC 3, Varšava 1995
17. Spurný, R. : Etalonáž hmotnosti v SMÚ Bratislava ,Metrologia 2/96 - článok
18. Bičárová, J. - Padúch, I. - Spurný, R.: Automatické zariadenia SMÚ na kalibráciu etalónových súprav závaží. In: Metrologia a skúšobníctvo, roč. 4, 1999, č. 1-2, s. 15-19.
19. Spurný R., Bičárová J.: Automatické zariadenie na kalibráciu súprav závaží v rozsahu 1 kg až 100 g., Metrologia a skúšobníctvo, ročník X, marec 2005, str. 5 -14
20. Spurný, R. : Meranie hmotnosti na váhach 1. a 2. triedy presnosti, Metrologia a skúšobníctvo, ročník XIV, marec 2009, číslo 1, str. 30 -37

Technický stav, úpravy a práce s váhami SMÚ 10 kg sú zachytené v správach :

správa č. 1123 pre čiastkovú opon. úlohy R 00.143.001.03 z roku 1982,  
správa č 1135 pre čiastkovú opon. úlohy R.2.21.013-83 z roku 1983,  
Sekundárna etalonáž hmotnosti , úloha č 600005, 1996

Technický stav, úpravy etalonážne práce s váhami SMÚ 1 kg sú zachytené v správach :

správa č. 1156 pre záverečnú opon. úlohy R 2. 21.013-83 z roku 1985,  
správa č. 1205 pre záv. oponentúru úlohy č R2-31-86

Technický stav, úpravy a práce s váhami SMÚ 100 kg a etalonáže nad 100 kg sú zachytené v správach :

správa č. 3074 pre záverečnú oponentúru úlohy č. R2-28 -86



správa č 1182 pre prieb. opon. úlohy R2/31-86 z roku 1988, str 87-99,  
Správa o činnosti odd 221 v oblasti etalonáže hmotnosti za rok 1993  
Správa o činnosti odd 221 v oblasti etalonáže hmotnosti za rok 1995  
Primárna etalonáž hmotnosti, úloha č. 200007, 1996

Technický stav automatických zariadení na kalibráciu súprav závaží a práce pri udržovaní NE sú popísané v nasledovných správach SMU:

1. Spurný, R.: Slovenský národný etalón hustoty kvapalín a tuhých telies : Súhrnná správa o etalóne. Bratislava : SMU, 1997. 30 s.
2. Spurný, R.: Slovenský národný etalón hmotnosti: Súhrnná správa o etalóne. Bratislava : SMU, 1997. 35 s.
3. Bičárová, J.: Sekundárna etalonáž hmotnosti (automat 10 kg), úloha č. 600005, Bratislava , SMU 1997
4. Spurný, R. - Bičárová, J.: Automatické zariadenie na kalibráciu súprav závaží v rozsahu 1 kg - 100 g : Realizované v rámci úlohy 200020/1998. Bratislava : SMU, júl 1999. 7 s. 7 príloh.
5. Spurný, R. - Bičárová, J.: Automatické zariadenia na kalibráciu súprav závaží v rozsahu 100 g - 1 g : Súhrnná správa realizovaná v rámci úlohy 200020/1999. Bratislava : SMU, 1999. 27 s.
6. Spurný, R. - Bičárová, J. - Tibenský, V. - Zajac, M.: Správa o výsledkoch výskumu a vývoja SNE hmotnosti v období 1998 -99 : Súhrnná správa. Bratislava : SMU, 1999. 43 s.
7. Spurný, R. - Bičárová, J.: Správa o výsledkoch periodickej kontroly SNE hmotnosti : Súhrnná správa. Bratislava : SMU, 1999. 22 s.
8. Spurný, R. - Bičárová, J.: Automatické zariadenie na kalibráciu súprav závaží v rozsahu 1g - 1mg : Realizované v rámci úlohy 200020/2000. Bratislava : SMU, máj 2000. 63 s. 1 príloha.
9. Spurný, R. - Padúch, I. - Zajac, M.: Automatické zariadenie na kalibráciu prietokových vibračných hustomerov kvapalín : Realizované v úlohe 200020/2000. Bratislava : SMU, október 2000. 21 s. 4 prílohy.
10. Spurný, R. - Bičárová, J.: Kalibrácia stupnice hmotnosti 2000 : Etapa úlohy 200020. Bratislava : SMU, júl, december 2000. 34 s.
11. Spurný, R. - Bičárová, J.: Kalibrácia stupnice hmotnosti 2001 : Etapa úlohy 200 021. Bratislava : SMU, december 2001. 13 s, prílohy.
12. Spurný, R.: Primárna a sek. etalonáž hmotnosti : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 200 021. Bratislava : SMU, december 2001. 15 s, prílohy
13. Spurný, R.: Primárna a sek. etalonáž hustoty : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 200 022. Bratislava : SMU, december 2001. 11 s.
14. Spurný, R., Bičárová, J., Tibenský, V.: Kalibrácia 50 kg etalónov , Správa z kalibrácie etalónov hmotnosti pre kľúčové meranie CCM M.K3, SMU, Bratislava 2002
15. Spurný, R. Bičárová J.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti, Správa pre záverečnú oponentúru, Bratislava december 2002
16. Spurný, R. : Primárna a sekundárna etalonáž hustoty, Správa pre záverečnú oponentúru, Bratislava dec. 2002
17. Spurný, R.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti a hustoty, Správa pre záverečnú oponentúru úlohy č. 220021, Bratislava december 2003
18. SPURNÝ, R. Bičárová J.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti a hustoty : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 021. Bratislava : SMU, december 2003. 83 strán s príl.
19. SPURNÝ, R. Bičárová J.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 021. Bratislava : SMU, december 2004. 30 strán., .
20. SPURNÝ, R. Bičárová J.: Primárna a sekundárna etalonáž hustoty : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 022. Bratislava : SMU, december 2004. 32 strán., .
21. Spurný, R., Bičárová J., Trochta D., Tibenský V.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti hustoty a viskozity : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 020. Bratislava : SMU, december 2005.,. 49 strán., .
22. Spurný, R., Bičárová J., Trochta D., Snopko L., Tibenský V.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti hustoty a viskozity : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 020. Bratislava : SMU, december 2006, 67 strán., .
23. Spurný, R., Bičárová J., Trochta D., Snopko L., Tibenský V.: Primárna a sekundárna etalonáž hmotnosti hustoty a viskozity : Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 020. Bratislava : SMU, december 2007, 40 strán., .
24. Spurný, R. Bičárová, J., Trochta, D., Tibenský, V., Snopko, L., Chytil, M., : Uchovávanie , zdokonaľovanie a rozvoj etalónov hmotnosti, hustoty a viskozity, Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 020-0, Bratislava, december 2008, 20 strán
25. Spurný, R. Bičárová, J., Trochta, D., Tibenský, V., Snopko, L., Chytil, M., : Uchovávanie , zdokonaľovanie a rozvoj etalónov hmotnosti, hustoty a viskozity, Správa pre záverečnú oponentúru úlohy 220 020-0, Bratislava, december 2009, 86 strán

26. Kalibrácia stupnice hmotnosti 2009 (kalibrácia 1 kg oceľ podľa 1 kg PtIr), Etapa úlohy 22020, Bratislava, december 2009, 115 strán
27. Spurný, R. Bičárová, J., Kalibrácia stupnice hmotnosti 2009 (kalibrácia 1 kg oceľ podľa 1 kg PtIr), Etapa úlohy 22020, Bratislava, december 2009, 115 strán
28. Spurný, R. Bičárová, J., Kalibrácia stupnice hmotnosti 2009 (kalibrácia súprav závaží 1mg až 10 kg), Etapa úlohy 22020, Bratislava, december 2009, 74 strán

### **Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní sú zachytené v správach :**

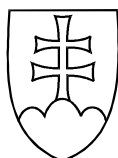
- Správa č RVHP 01.752.II-78 , Medzinárodné porovnanie národných etalónov hmotnosti krajín RVHP, Leningrad 1978
- Správa č. RVHP 01.753-87 . Medzinárodné porovnanie národných etalónov hmotnosti krajín RVHP, Leningrad 1987
- CCM Comparison of 1 kg standards of stainless steel, BIPM 1999
- CCM key comparison of multiples and submultiples of the kilogram, BIPM September 2000
- Coomet project No 127/PL – a/97, Správa, october 2000
- CCM-M.K3 comparison / 50 kg Mass, BIPM máj 2002
- Euromet project 509, 510, NPL 2004
- Euromet project 445, NPL 2004
- Spurný, R.: COOMET Project 257/Sk-a/02, Key comparison stainless steel 1 kg mass standards - COOMET.M.M-K1, Comparison results, SMU 2009

## 7 Zoznam dokumentov súvisiacich s NE hmotnosti

- STN 177001 Názvoslovie váh, vážiacich zariadení a závaží  
STN 177805 Závažia s hmotnosťou do 50 kg  
STN EN 45501 Metrologické aspekty váh s neautomatickou činnosťou  
TPM 4101-94 Schéma nadväznosti meradiel hmotnosti
- PP 01/220/05 PP na kalibráciu etalónov hmotnosti metódou priameho porovnania, verzia 2, 2005  
PP 02/220/06 PP na kalibráciu etalónov hmotnosti metódou súbornej skúšky, verzia 3, 2006  
PP 03/220/00 PP pre meranie hustoty vzduchu výpočtom zo stavovej rovnice vlhkého vzduchu  
PP 04/220/06 PP pre meranie objemov závaží a hustôt referenčných kvapalín metódou hydrostatického váženia, verzia 2, 2006  
PP 05/220/10 PP na skúšanie elektronických váh 1., 2. a 3. triedy presnosti, pre účely kalibrácie, overovania a posudzovania zhody, verzia 7, 2010  
PP 06/220/00 PP na kalibráciu mechanických etalónových váh

- Návod na použitie etalónových váh SMÚ váživosti 1 kg
- Návod na použitie etalónových váh SMÚ váživosti 10 kg
- Návod na použitie etalónových váh SMÚ váživosti 100 kg
- Návod na obsluhu automatického zariadenia – 10 kg – 1 kg
- Návod na obsluhu automatického zariadenia – 1 kg – 100 g
- Návod na obsluhu automatického zariadenia – 100 g – 1 g
- Návod na obsluhu automatického zariadenia – 10 g – 1 mg
- Návod na obsluhu automatického zariadenia – 20 kg – 5 kg

Euramet cg 18, Guidelines on the calibration of NAWI, 2005



## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

**č. 003/10, Revízia 3**

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) a zákona č. 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 431/2004 Z. z. (ďalej len "zákon"), na základe posúdenia Súhrnnej správy pre revíziu národného etalónu hmotnosti č. 003/10 zo dňa 30. 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 HMOTNOSTI**

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

**Jednotka 1 kg, stupnica hmotnosti v rozsahu hodnôt od 1 mg do 50 kg**

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Robert Spurný, PhD.**

**Dátum schválenia revízie:**

**15. 12. 2010**

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v Súhrnnej správe pre revíziu národného etalónu hmotnosti č. 003/10.

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. 003/10 Revízia 3, nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 003/04 zo dňa 15. 12. 2004

V Bratislave, 30. 11. 2010

prof. Ing. Rudolf Durný, DrSc.  
generálny riaditeľ

**Nadväznosť:** NE hmotnosti a stupnica hmotnosti SMU je nadviazaná na medzinárodné etalóny hmotnosti BIPM .

### Základné metrologické charakteristiky etalónu:

Etalón hmotnosti má metrologické parametre potrebné pre nadviazanie pracovných meradiel hmotnosti a etalónov hmotnosti definovaných STN 177805 na medzinárodné etalóny hmotnosti metódami definovanými Schémou nadväznosti meradiel hmotnosti. TPM 4101 - 94.

Rozsah realizácie stupnice hmotnosti : 1 mg až 50 kg

#### *Etalóny hmotnosti*

- PtIr č 41 : Hmotnosť 1 kg + 0.548 mg ,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem  $46,4972 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$
- PtIr č 65 : Hmotnosť 1 kg + 0.208 mg,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem  $46,4354 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$ , drsnosť povrchu je  $R_a = 0,01 \mu\text{m}$ ,

#### *Sekundárne etalóny hmotnosti*

- Etalóny hmot. 1 kg 02, 04, E1, E2, E5, E6, N1, N2,
- rozsah 1 g až 10 kg , , austenitická oceľ, označenie : 02-80, 017, E1, E2, E5, E6, P7, 002,
- rozsah 1 mg až 500 mg ( platina ) , rozsah 10 kg až 50 kg, austenitická oceľ , označenie : P6

#### *Zloženie súprav je*

platina PtI. :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) mg
E1, E2, 017	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) g
E5, E6 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500, 1000) g
02-80,	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200, 500, 1000) g
002, P7 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10) kg
P6 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 50, 50) kg

Zariadenie na meranie hustoty vzduchu : rozsah (1,1 - 1,3)  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $u_C = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-3}$

### Zostava etalónu :

názov zariadenia	metrologické parametre	invent. číslo
<b><i>Etalóny hmotnosti</i></b>		
1 Etalón hmotnosti BIPM 1kg PtIr No 41	$u_C(m) = (5 \text{ až } 10) \mu\text{g}$ , $u_C(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	43
2 Etalón hmotnosti BIPM 1 kg PtIr No 65	$u_C(m) = (5 \text{ až } 10) \mu\text{g}$ , $u_C(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	112
3 etalóny hmotnosti 1 kg, 02, 04, E1, E2, E5, E6	$u_C(m) = (15 \text{ až } 30) \mu\text{g}$ , $u_C(V) \leq 2 \text{ mm}^3$	
4 Súprava závaží jemných 1g-1000g 02/80	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	4230
5 Etalóny hmotnosti I.a radu, 017	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	6651
6 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1kg-10 kg, 002	$u_C(m) \text{ relat} = (3 \cdot 10^{-8} \text{ až } 2 \cdot 10^{-7})$	6699
7 Súprava etalónov hmotnosti Ia. rádu 1kg -50 kg, P6	$u_C(m) \text{ relat} = (2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 3 \cdot 10^{-7})$	6651
8 Súprava etalónov hmotnosti Ia. rádu 1kg-10 kg, P7	$u_C(m) \text{ relat} = (2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 10^{-6})$	6650
9 Súprava etalónov hmotnosti Ia. rádu 1g-500g, E1	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7018
10 Súprava etalónov hmotnosti Ia. rádu 1g-500g, E2	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7019
11 Súprava - ploché etalóny hmotnosti I.a rádu, E5	$u_C(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7104

12	Súprava - ploché etalóny hmotnosti 1.a rádu, E6	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7105
13	Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E7	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7339
14	Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E8	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7340
15	Závažie zlomkové Pt 1	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	46
16	Súprava závaží triedy presnosti E1, 1mg-5kg,	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7666

#### **Automatické zariadenia s váhami a príslušenstvom**

17	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 20 kg + PC	so = 2 mg	7695
18	Elektron. komp. váhy s terminálom KA-30/P	Max = 32 kg, d = 2 mg, so = 2 mg	7345
19	Zariadenie na kal. súpr. etal. hmot. Auto 10 kg + PC	so = 1 mg	6388
20	Elektron. komparátorové váhy CC10000S	Max = 10 kg, d = 1 mg, so = 1 mg	7602
21	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. váham		7603
22	Kombinovaný prevodník VAISALA PTU303		7614
23	Skriňa pre automat 10 kg		7436
24	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 1000 g + PC	so = 20 µg	6649
25	Váhy Metler AT 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	6605
26	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 100 g + PC	so = 2 µg	6758
27	Váhy komparátorové AT 106	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6645
28	Manipul. zariad. pre mikrováhy Automat 1 g + PC	so = 2 µg	7023
29	Váhy elekt. komp. Sartorius CC20 + PC	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6390
30	Komparátorové váhy AT 1006	Max = 1010 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6807
31	Klimatická stanica na meranie hustoty vzduchu Klimet	0,001 °C, 1 Pa, 1% r.v.	7056
32	Počítač VECTRA VL 5/100		7208

#### **Etalónové váhy**

33	Elektronická mikrováha UMX 5	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7342
34	Váhy SARTORIUS CC10 000 S	Max = 10050 g, d = 0,1 mg, so = 2 mg	7206
35	Analytické váhy AX 205	Max = 205 g, d = 0,01 mg, so = 0,02 mg	7149
36	Váhy etalon. 10 Kg EV 1-10	Max = 10 kg, so = 0,03 mg	5531
37	Elektronické komp váhy s terminálom KC 100	Max = 150 kg, d = 0,05 g, so = 0,1 g	7346
38	Váhy etalon. na podelenie kg EV 1000	Max = 100 kg, so = 1 mg	5867
39	Etalónové váhy SMÚ 100 kg,	Max = 1000 g, so = 0,002 mg	5836
40	Váhy UMX 5+HW vybavenie	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7531
41	Komparátorové etalónové váhy XP26	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7616
42	Komparátorové etalónové váhy AX 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	7664
43	Komparátorové etalónové váhy AX 106 .	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7665
44	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. Váhe		7604

#### **Ostatné zariadenia**

45	Digitálny teplomer F 250	d = 0,001 °C	7239
46	Digitálny teplomer F 250 + prepínacia jednotka	d = 0,001 °C	7239
47	Barometer digit. Paroscientific 740-16B	d = 0,1 Pa	6076

### **Prehľad odovzdávania hodnoty jednotky a stupnice hmotnosti na ostatné meradlá:**

Pri nadviazaní oceľových etalónov hmotnosti 1 kg na PtIr etalóny 1 kg sa v teplotne stabilizovanom laboratóriu dosahuje kombinovaná štandardná neistota 14 µg.

Stupnica hmotnosti sa realizuje v rozsahu 1 mg až 50 kg metódou súbornej skúšky s neistotou pre triedu presnosti E1 podľa STN 17 7805.

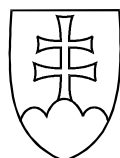
### **Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:**

CCM.M-K1, CCM.M-K2, CCM.M-K3, Euromet 509, Euromet 510, Euromet 445, CCM-M-K5, Koomet 257

**Miesto uchovávaní a používania etalónu :** Slovenský metrologický ústav, Bratislava  
Laboratórium hmotnosti, miestnosť  
č.105, č. 107, č.104, č. 109, laboratórny  
objekt H

.....  
Ing. Robert Spurný. PhD.  
osoba zodpovedná za etalón  
riaditeľ centra hmotnosti a tlaku

*Tento certifikát môže byť rozmnožovaný len celý a nezmenený.  
Rozmnožovať jeho časti možno len s písomným súhlasom Slovenského metrologického ústavu.*



## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

**č. 003/04, Revízia 1**

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) a zákona č. 142/2000 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 431/2004 Z. z. (ďalej len "zákon"), na základe posúdenia Súhrnnej správy pre revíziu národného etalónu hmotnosti č. 003/04 zo dňa 30. 11. 2004 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 HMOTNOSTI**

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

**Jednotka 1 kg, stupnica hmotnosti v rozsahu hodnôt od 1 mg do 50 kg**

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Robert Spurný, CSc.**

**Dátum schválenia návrhu revízie:**

**30. 11. 2004**

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v Súhrnnej správe pre revíziu národného etalónu hmotnosti č. 003/04.

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.

Revízia 1 nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 003/02 zo dňa 25. 7. 2002

V Bratislave, 30. 11. 2004

prof. Ing. Matej Bíly, DrSc.  
generálny riaditeľ



**Nadväznosť:** NE hmotnosti a stupnica hmotnosti SMU je nadviazaná na medzinárodné etalóny hmotnosti BIPM .

### Základné metrologické charakteristiky etalónu:

Etalón hmotnosti má metrologické parametre potrebné pre nadviazanie pracovných meradiel hmotnosti a etalónov hmotnosti definovaných STN 177805 na medzinárodné etalóny hmotnosti metódami definovanými Schémou nadväznosti meradiel hmotnosti TPM 4101 - 94.

Rozsah realizácie stupnice hmotnosti : 1 mg až 50 kg

#### *PtIr etalóny hmotnosti*

- PtIr č 41 : Hmotnosť 1 kg + 0.548 mg ,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem  $46.4972 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$
- PtIr č 65 : Hmotnosť 1 kg + 0.208 mg,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem  $46.4354 \text{ cm}^3$  pri  $0^\circ\text{C}$ , drsnosť povrchu je  $R_a = 0.01 \mu\text{m}$ ,

#### *Sekundárne etalóny hmotnosti*

- rozsah 1 g až 10 kg , kalibrované s relat. neistotou  $10^{-7}$  , austenitická oceľ, označenie : E1, E2, P4, 02-80,
- rozsah 1 mg až 500 mg ( platina ) , kalibrované s relat. neistotou  $10^{-7}$  až  $10^{-4}$
- rozsah 10 kg až 50 kg kalibrované s relat neistotou  $10^{-6}$ , austenitická oceľ , označenie : P6

Zloženie súprav závaží je

platina PtI. :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) mg
E1, E2	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500) g
E5, E6 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500, 1000) g
02-80:	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200, 500, 1000) g
002 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10) kg
P6 :	(1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 50, 50) kg

*Zariad. na mer. hustoty vzduchu* : rozsah (1,1 - 1,3)  $\text{mg.cm}^{-3}$ ,  $u_C = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ mg.cm}^{-3}$

### Zostava etalónu :

#### *Etalóny hmotnosti:*

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| • PtIr etalón číslo 41,             | inventárne číslo DK III 43                |
| • PtIr etalón číslo 65,             | inventárne číslo DK III 112               |
| • súprava Pt závaží 500 mg - 1 mg,  | inventárne číslo DK III 46                |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg            | označenie 02, 04, E1, E2                  |
| • Etalóny hmotnosti 500 g až 1 g,   | inventárne číslo III 07018, 019, (E1, E2) |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg g až 1 g,  | inventárne číslo III 07104, 105, (E5, E6) |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg až 1 g ,   | inventárne číslo III 04230 ( 02-80)       |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg až 10 kg,  | inventárne číslo III 06699 (002)          |
| • Etalóny hmotnosti 10 kg až 50 kg, | inventárne číslo III 06651 (P6)           |

*Etalónové váhy a automatické zariadenia na kalibráciu súprav závaží:*

- Mikrováhy Mettler UMX 5, inventárne číslo III 07342
- Mikrováhy Sartorius CC 20, inventárne číslo III 06390
- Elektronické váhy Mettler AX 205, inventárne číslo III 07149
- Etalónové váhy SMÚ váživosti 10 kg, inventárne číslo III 05531
- Etalónové váhy SMÚ váživosti 1 kg, inventárne číslo III 05867
- Etalónové váhy SMÚ 100 kg, inventárne číslo III 05836
- Elektr. kompar. váhy Mettler AT 1006 inventárne číslo III 06807
- Elektr. kompar. váhy Mettler AT 1005 inventárne číslo III 06605
- Elektr. kompar. váhy Mettler AT 106 inventárne číslo III 06645
- Automat na kal. závaží 1 kg – 10 kg inventárne číslo III 06388
- Automat na kal. závaží 1 kg – 100 g inventárne číslo III 06649
- Automat na kal. závaží 100 g – 1 g inventárne číslo III 06758
- Automat na kal. závaží 10 g – 1 mg inventárne číslo III 07023

*Zariadenie na meranie hustoty vzduchu :*

- Teplomer ASL F250, inventárne číslo III 07172
- Barometer Paroscientific model 740-16B, inventárne číslo III 06076
- Vlhkomer Testo typ 0563, inventárne číslo III 06291
- Mettler Klimet A30 inventárne číslo III 05693

**Prehľad odovzdávania hodnoty jednotky a stupnice hmotnosti na ostatné meradlá:**

Pri nadviazaní oceľových etalónov hmotnosti 1 kg na PtIr etalóny 1 kg sa v teplotne stabilizovanom laboratóriu dosahuje kombinovaná štandardná neistota 14 µg.

Stupnica hmotnosti sa realizuje v rozsahu 1 mg až 50 kg metódou súbornej skúšky s neistotou pre triedu presnosti E1 podľa STN 17 7805.

**Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:**

*CCM.M-K1, CCM.M-K2, CCM.M-K3, Euromet 509, 510, 445, CCM-M-K5*

**Miesto uchovávania a používania etalónu :**

Slovenský metrologický ústav, Bratislava  
Laboratórium hmotnosti, miestnosť č.105,  
č. 107, č.104, č.109, laboratórny objekt H

.....  
Ing. Robert Spurný. PhD.  
osoba zodpovedná za etalón  
riaditeľ centra hmotnosti a tlaku

*Tento certifikát môže byť rozmnožovaný len celý a nezmenený.  
Rozmnožovať jeho časti možno len s písomným súhlasom Slovenského metrologického ústavu.*



## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

**č. 003/02**

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 vydaného osvedčenia o národnom etalóne pod číslom 003/97 zo dňa 30.12.1997 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 HMOTNOSTI**

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

**Jednotka 1 kg, stupnica hmotnosti v rozsahu hodnôt od 1 mg do 50 kg**

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Robert Spurný, CSc.**

**Dátum schválenia návrhu:**

**17.12.1997**

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v správe o národnom etalóne hmotnosti z decembra 1997.

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.

V Bratislave, 25.7.2002

prof. Ing. Matej Bílý, DrSc.  
generálny riaditeľ

**Nadväznosť:** NE hmotnosti a stupnica hmotnosti SMU je nadviazaná na medzinárodné etalóny hmotnosti BIPM .

### Základné metrologické charakteristiky etalónu:

Etalón hmotnosti má metrologické parametre potrebné pre nadviazanie pracovných meradiel hmotnosti a etalónov hmotnosti definovaných STN 177805 na medzinárodné etalóny hmotnosti metódami definovanými Schémou nadväznosti meradiel hmotnosti TPM 4101 - 94.

Rozsah realizácie stupnice hmotnosti : 1 mg až 50 kg

#### *Etalóny hmotnosti*

- PtIr č 41 : Hmotnosť 1 kg + 0.548 mg ,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$ , objem 46.4972 cm<sup>3</sup> pri 0°C
- PtIr č 65 : Hmotnosť 1 kg + 0.208 mg,  $u_C = 2,3 \mu\text{g}$  , objem 46.4354 cm<sup>3</sup> pri 0°C, drsnosť povrchu je Ra = 0.01 μm,

#### *Sekundárne etalóny hmotnosti*

- rozsah 1 g až 10 kg , kalibrované s relat. neistotou  $10^{-7}$  , austenitická oceľ, označenie : E1, E2, P4, 02-80,
- rozsah 1 mg až 500 mg ( platina )
- rozsah 10 kg až 50 kg kalibrované s relat neistotou  $10^{-6}$ , austenitická oceľ , označenie : P6

#### *Zloženie súprav je*

platina :	1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500 mg
E1, E2 , P4 :	1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500 g
02-80, :	1, 1, 2, 2, 5, 10, 10, 20, 20, 50, 100, 100, 200, 200, 500, 1000 g
P4 :	1, 1, 2, 2, 5, 10 kg
P6 :	10, 10, 20, 20, 50, 50, 50 kg

*Zariad. na mer. hustoty vzduchu* : rozsah (1,1 - 1,3) mg.cm<sup>-3</sup>,  $u_C = 2.5 \cdot 10^{-4}$  mg.cm<sup>-3</sup>

### Zostava etalónu :

#### *Etalóny hmotnosti:*

- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| • PtIr etalón číslo 41,             | inventárne číslo DK III 43            |
| • PtIr etalón číslo 65,             | inventárne číslo DK III 112           |
| • súprava Pt závaží 1 mg - 500 mg,  | inventárne číslo DK III 46            |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg            | označenie 02, 04, E1, E2              |
| • Etalóny hmotnosti 1 g až 500 g,   | označenie E1, E2                      |
| • Etalóny hmotnosti 1 kg až 10 kg,  | inventárne číslo : III 05868 (P4)     |
| • Etalóny hmotnosti 1 g až 1 g ,    | inventárne číslo : III 04230 ( 02-80) |
| • Etalóny hmotnosti 10 kg až 50 kg, | označenie P6                          |

*Etalónové váhy:*

- Hlavné váhy, inventárne číslo III 04720
- Mikrováhy Sartorius S4, inventárne číslo III 05536
- Mikrováhy Sartorius CC 20 , inventárne číslo : 51001017
- Elektronické váhy Sartorius 2004 MP8, inventárne číslo : III 05180
- Etalónové váhy SMÚ váživosti 10 kg, inventárne číslo : III 05531
- Etalónové Váhy SMÚ váživosti 1 kg, inventárne číslo : III 05867
- Etalónové váhy SMÚ 100 kg, inventárne číslo III 05836

## Zariadenie na meranie hustoty vzduchu :

- Teplomer HP 2804 A, inventárne číslo III 06055
- Barometer Paroscientific model 740-16B, inventárne číslo III 06076
- Vlhkomer Testo typ 0563, inventárne číslo III 06291
- Merač obsahu CO<sub>2</sub> - Infracit 4, inventárne číslo : III 05693
- Personálny počítač ( súčasť hlavných váh)

**Prehľad odovzdávania hodnoty príslušnej jednotky (stupnice) na ostatné meradlá:**

Pri nadviazaní oceľových etalónov hmotnosti 1 kg na PtIr etalóny 1 kg sa v teplotne stabilizovanom laboratóriu dosahuje kombinovaná štandardná neistota 14 µg. Stupnica hmotnosti sa realizuje v rozsahu 1 mg až 50 kg metódou súbornej skúšky s neistotou pre triedu presnosti E1 podľa STN 17 7805.

**Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:**

*CCM.M-K1, CCM.M-K2, CCM.M-K3*

**Miesto uchovávania a používania etalónu :**

Slovenský metrologický ústav, Bratislava  
Laboratórium hmotnosti, miestnosť č.105,  
č. 107, č.104, laboratórny objekt H

.....  
Ing. Robert Spurný. CSc.  
osoba zodpovedná za etalón  
riaditeľ centra hmotnosti a tlaku

*Tento certifikát môže byť rozmnožovaný len celý a nezmenený.  
Rozmnožovať jeho časti možno len s písomným súhlasom Slovenského metrologického ústavu.*

## Pravidlá používania a uchovávania Národného etalónu hmotnosti, jún 2010

### Úvod

V zmysle STN 01 0115 Terminológia v metrologii je uchovávanie, resp. udržiavanie etalónov definované nasledovne:

#### 5.11 uchovávanie etalónu udržiavanie etalónu

súbor činností nevyhnutných pre zachovanie metrologických vlastností etalónu v rámci stanovených limitov

POZNÁMKA uchovávanie zahŕňa spoločne pravidelné overovanie metrologických vlastností alebo kalibráciu, uskladnenie za vhodných podmienok a zvláštnu ochranu pri použití.

Originálny termín v International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM) third edition, ISO VIM 2006, je conservation of a measuring standard, alebo maintenance of a measuring standard.

Z definície vyplýva, že časovo najnáročnejšia a teda hlavná činnosť v uchovávaní etalónov je ich kalibrácia – resp ich rekalibrácia.

Otázky metód kalibrácie, rekalibrácie a intervalu rekalibrácie sú rozoberané v časti e, kde sú uvedené odkazy na technické detaily tejto základnej činnosti potrebnej pre uchovanie metrologických parametrov etalónov používaných v SMU a to od národných etalónov až po pracovné etalóny daného rádu používané na prenos hodnoty jednotky veličiny do praxe.

#### a, Názov etalónu a jeho identifikácia :

Národný etalón hmotnosti - číslo 003/97 ,  
vyhlásený predsedom ÚNMS SR dňa 30. decembra 1997

Zostava Národného etalónu (NE) hmotnosti obsahuje :

názov zariadenia	metrologické parametre	invent. číslo
<i>Etalóny hmotnosti</i>		
1 Etalón hmotnosti BIPM 1kg PtIr No 41	$u_c(m) = (5 \text{ až } 10) \mu\text{g}$ , $u_c(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	43
2 Etalón hmotnosti BIPM 1 kg PtIr No 65	$u_c(m) = (5 \text{ až } 10) \mu\text{g}$ , $u_c(V) \leq 1 \text{ mm}^3$	112
3 etalóny hmotnosti 1 kg, 02, 04, E1, E2, E5, E6	$u_c(m) = (15 \text{ až } 30) \mu\text{g}$ , $u_c(V) \leq 2 \text{ mm}^3$	
4 Súprava závaží jemných 1g-1000g, 02/80	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	4230
5 Etalóny hmotnosti I.a radu, 017	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	6651
6 Súprava etalónov hmotnosti I.a radu, 1kg-10 kg, 002	$u_c(m) \text{ relat} = (3 \cdot 10^{-8} \text{ až } 2 \cdot 10^{-7})$	6699
7 Súprava etalónov hmotnosti I.a. rádu 1kg -50 kg, P6	$u_c(m) \text{ relat} = (2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	6651
8 Súprava etalónov hmotnosti I.a. rádu 1kg-10 kg, P7	$u_c(m) \text{ relat} = (2 \cdot 10^{-7} \text{ až } 10^{-6})$	6650
9 Súprava etalónov hmotnosti I.a. rádu 1g-500g, E1	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7018
10 Súprava etalónov hmotnosti I.a. rádu 1g-500g, E2	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7019
11 Súprava - ploché etalóny hmotnosti I.a rádu, E5	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7104

12	Súprava - ploché etalóny hmotnosti I.a rádu, E6	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7105
13	Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E7	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7339
14	Súprava - plochých etalónov hmotnosti I.a rádu, E8	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7340
15	Závažie zlomkové PTI	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	46
16	Súprava závaží triedy presnosti E1,1mg-5kg	$u_c(m) \text{ relat} = (10^{-6} \text{ až } 3 \cdot 10^{-8})$	7666

#### *Automatické zariadenia s váhami a príslušenstvom*

17	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 20 kg + PC	so = 2 mg	7695
18	Elektron. komp. váhy s terminálom KA-30/P	Max = 32 kg, d = 2 mg, so = 2 mg	7345
19	Zariadenie na kal. súpr. etal. hmot. Auto 10 kg + PC	so = 1 mg	6388
20	Elektron. komparátorové váhy CC10000S	Max = 10 kg, d = 1 mg, so = 1 mg	7602
21	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. váham		7603
22	Kombinovaný prevodník VAISALA PTU303		7614
23	Skriňa pre automat 10 kg		7436
24	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 1000 g + PC	so = 20 µg	6649
25	Váhy Metler AT 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	6605
26	Aut. zariad. pre kalibr. súpr. etal. hmot. Auto 100 g + PC	so = 2 µg	6758
27	Váhy komparátorové AT 106	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6645
28	Manipul. zariad. pre mikrováhy Automat 1 g + PC	so = 2 µg	7023
29	Váhy elekt. komp. Sartorius CC20 + PC	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6390
30	Komparátorové váhy AT 1006	Max = 1010 g, d = 1 µg, so = 2 µg	6807
31	Klimatická stanica na meranie hustoty vzduchu Klimet	0,001 °C, 1 Pa, 1% r.v.	7056
32	Počítač VECTRA VL 5/100		7208

#### *Etalónové váhy*

33	Elektronické mikrováhy UMX 5	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7342
34	Váhy SARTORIUS CC10 000 S	Max = 10050 g, d = 0,1 mg. so = 2 mg	7206
35	Analytické váhy AX 205	Max = 205 g, d = 0,01 mg, so = 0,02 mg	7149
36	Váhy etalon. 10 Kg EV 1-10	Max = 10 kg, so = 0,03 mg	5531
37	Elektronické komp váhy s terminálom KC 100	Max = 150 kg, d = 0,05 g, so = 0,1 g	7346
38	Váhy etalon. na podelenie kg EV 1000	Max = 100 kg, so = 1 mg	5867
39	Etalónové váhy SMÚ 100 kg,	Max = 1000 g, so = 0,002 mg	5836
40	Váhy UMX 5+HW vybavenie	Max = 5 g, d = 0,1 µg, so = 0,3 µg	7531
41	Komparátorové etalónové váhy XP26C	Max = 20 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7616
42	Komparátorové etalónové váhy AX 1005	Max = 1100 g, d = 10 µg, so = 20 µg	7664
43	Komparátorové etalónové váhy AX 106 .	Max = 110 g, d = 1 µg, so = 2 µg	7665
44	Automat. vyhodn. jednotka k el. komp. Váhe		7604

#### *Ostatné zariadenia*

45	Digitálny teplomer F 250	d = 0,001 °C	7239
46	Digitálny teplomer F 250 + prepínacia jednotka	d = 0,001 °C	7239
47	Barometer digit. Paroscientific 740-16B	d = 0,1 Pa	6076

### **b, Požiadavky na prostredie etalónu :**

- teplota v laboratóriu pre dlhodobé uloženie etalónov:
  - pre PtIr etalóny (20 až 23) °C.
  - pre oceľové etalóny do 10 kg (19 až 25) °C
  - pre oceľové etalóny 20 kg a 50 kg (17 až 27) °C
- zmeny teploty laboratória počas merania -  
pri porovnávaní PtIr - oceľ : menej ako 0,1 °C za hodinu

pri porovnávaní oceľ - oceľ : menej ako 0,5 °C za hodinu

- vlhkosť v laboratóriu : 20 % až 70 %
- osvetlenie : nie je potrebné definovať
- prípustné elektromagnetické poruchy : nie sú definované
- dovolená hladina radiácie : nie je definovaná
- prípustné variácie napájacieho napätia zdrojov :  $\pm 20$  V
- prípustná hladina vibrácií : nie je stanovená - váhy sú na izolovaných stoloch
- čistota ovzdušia : nie je stanovená. Pri stavbe laboratórií sa požadoval neprašný náter stien.  
Obsah CO<sub>2</sub> : 0,04%

### **c, Požiadavky na obslužný personál etalónu**

#### **NE hmotnosti obsluhujú nasledovní pracovníci :**

Ing. Robert Spurný, CSc., PharmDr. Jana Bičárová

Ing. Robert Spurný, CSc. :

- zodpovedá za správnosť funkcie NE hmotnosti
- stanovuje metódy merania a kontroluje vyhodnotenú a nameranú údaje ,
- vykonáva nadviazanie sekundárnych etalónov 1 kg na PtIr etalóny,
- vykonáva kalibráciu pracovného etalónu hmotnosti v rozsahu nad 10 kg
- vykonáva justáž a úpravy etalónových váh
- kontroluje metrologické parametre jednotlivých meradiel

PharmDr. Jana Bičárová :

- vykonáva nadviazanie sekundárnych etalónov 1 kg na PtIr etalóny,
- vykonáva kalibráciu pracovného etalónu hmotnosti v rozsahu 1 mg až 10 kg
- vykonáva meranie ovplyvňujúcich veličín pri nadviazaní sekundárnych etalónov na PtIr etalóny
- spolupracuje pri justáži a úpravách etalónových váh
- spracúva a vyhodnocuje výsledky meraní

#### **Ďalší pracovníci zaoberajúci sa rozvojom a údržbou meracích zariadení komplexu NE :**

Ing. Vladimír Tibenský, Ing. Laurenc Snopko

Ing. Vladimír Tibenský :

- spolupracuje pri obsluhu a údržbe váh 100 kg
- spolupracuje pri kalibrácii závaží v rozsahu 10 kg až 50 kg

Ing. Laurenc Snopko:

- vykonáva automatizáciu meracieho procesu na elektronických váhach



## **- Vymedzenie prístupu a povinností**

Do miestností laboratória hmotnosti a hustoty, kde sa nachádzajú časti NE hmotnosti voľne vstupujú iba pracovníci týchto laboratórií. Vedúci pracovníci ústavu a poprední špecialisti z metrológie hmotnosti zo zahraničných ústavov do týchto miestností vstupujú iba v sprievode pracovníkov obsluhujúcich NE hmotnosti.

### **Kvalifikačné predpoklady :**

Pracovníci obsluhujúci NE hmotnosti :

vysokoškolské vzdelanie

znalosť pracovných postupov z etalonáže hmotnosti SMÚ

znalosť návodov na použitie

ovládanie výpočtových programov používaných v etalonáži hmotnosti SMÚ

Ďalší pracovníci zaoberajúci sa rozvojom a udržovaním meracích zariadení :

vysokoškolské vzdelanie

znalosť konštrukcie a spôsobu práce zariadení

## **d. Bezpečnostné opatrenia**

### **- Uloženie ( uschovávanie ) NE hmotnosti z hľadiska bezpečnosti a zachovania jeho metrologických vlastností**

Pt Ir etalóny hmotnosti, v dobe keď sa nepoužívajú, sú uložené v trezore laboratória hmotnosti v miestnosti č 105 laboratórneho objektu H , SMÚ Bratislava. Pri používaní sú v lab H 107.

Etalóny hmotnosti v rozsahu 1 mg až 1 kg sa nachádzajú na tom istom mieste, používajú sa v laboratóriách číslo H105, H 107, H 109 a H 104.

Etalóny hmotnosti 1 kg až 10 kg sa nachádzajú v miestnosti č 105 a 109 laboratórneho objektu H, SMÚ.

Etalónové váhy SMÚ 1 kg, 10 kg a hlavné váhy sa nachádzajú v miestnosti č 105 laboratórneho objektu H, SMÚ, automatické zariadenia sa nachádzajú v miestnostiach H 107 a H 109. Elektronické komparátorové váhy Mettler AT 1006 a zariadenie na meranie hustoty vzduchu Klimet A30 sa nachádzajú v miestnosti H 107 . Klimet sa používa aj v miestnostiach H 105 a H 104 a aj ne NE hustoty.

Etalóny hmotnosti 10 kg až 50 kg sa nachádzajú v miestnosti č. 104 laboratórneho objektu H, SMÚ. Používajú sa aj v miestnosti H 105 a H 102, ako aj u zákazníkov

Sekundárne etalóny - t.j. oceľové etalóny, ktoré sú priamo nadviazané na PtIr etalóny a im odpovedajúce súpravy závaží sa z uvedených miestností vynášajú iba pre účely medzinárodných porovnávacích meraní, všetky práce s nimi sa vykonávajú v uvedených miestnostiach laboratória hmotnosti. Podľa potreby sa etalóny prenášajú medzi uvedenými miestnosťami.

V dobe keď sa nepoužívajú, sú oceľové etalóny hmotnosti uložené v drevených krabiciach vystlaných odmastenou jelenicou. 40 kusov oceľových etalónov 50 kg sú uložené na odkladacích nosníkoch v lab. H 104 (opreté šikmo o stenu).

PtIr etalóny sú v trezore uložené pod dvoma sklenenými zvonmi na opálových podložkách. Transportujú sa v kovových transportných puzdrách, kde sú zovreté z troch strán a na čelách, pričom na dotykových plochách je odmastená jelenica.

Pred použitím sa oceľové etalóny ukladajú na sklenené podložky a zakrývajú sa sklenenými zvonmi.

PtIr etalóny sa vkladajú priamo do váh Mettler AT 1006, resp. hlavných váh.

Oceľové etalóny sa počas používania neumývajú. Ak sa umyjú, tak len pred rekalibráciou. Umyjú sa čistým liehom a osušia sa optickou utierkou. Po umytí sa nechajú stabilizovať niekoľko dní pod skleneným zvonom.

Pracovné etalóny - t.j. oceľové súpravy etalónov, ktoré boli kalibrované pomocou sekundárnych etalónov (N2, N1) a etalóny 50 kg sa môžu používať na kalibrácie váh u zákazníkov.

## **- Prenášanie a premiestňovanie komponentov NE hmotnosti**

Etalóny hmotnosti sa prenášajú len v úložných krabiciach, alebo transportných puzdrách.

Pri kalibrácii váh u zákazníkov, sa príslušné súpravy závaží do 10 kg prenášajú v aute, v priestore kabíny. Závažia 20 kg a 50 kg možno prevážať v uzavretom nákladovom priestore auta. Etalóny 20 kg sú v drevených krabiciach, etalóny 50 kg sú na prepravných podložkách SMU, alebo na podlahe, uložené na mäkkom materiáli (textilná podložka, drevo, plast) zabráňujúc ich poškodenie, navzájom sú podobným materiálom oddelené a zhora prikryté. V žiadnom prípade sa závažia neprenášajú na otvorenom nákladnom priestore auta.

Po preprave sa etalóny hmotnosti teplotne stabilizujú - pozri PP 01/220, resp. PP 02/220.

Etalóny hmotnosti do 10 kg sa vyberú z krabice a nechajú sa stabilizovať na teplotu. Pri kalibrácii váh 1. triedy presnosti sa vyžaduje stabilizácia ako pre triedu presnosti závaží F1 (resp. 2. trieda presnosti) podľa PP 01/220, resp. PP 02/220.

Pri kalibrácii váh 2. triedy presnosti sa teplotná stabilizácia etalónov SMU, prevezených v kabíne auta, nevyžaduje.

Etalónové váhy sa nepremiestňujú. Po premiestnení, alebo presunutí etalónových váh SMÚ, je potrebné vykonať ich justáž a kontrolu metrologických parametrov.

O každom vybratí PtIr etalónov hmotnosti z trezoru v miestnosti č. 105 sa vykoná záznam do denníka etalónu.

Ostatné prístroje zaradené do zostavy NE sa premiestňujú len v miestnostiach v ktorých je umiestnený NE hmotnosti. Mimo týchto miestností sa komponenty NE hmotnosti vynášajú len pre ich kalibráciu v príslušných laboratóriách SMÚ.

## **e. Postupy na používanie etalónu**

### **- Používanie a intervaly rekalibrácie**

Etalóny hmotnosti sa nadväzujú a používajú v zmysle Schémy nadväznosti meradiel hmotnosti - TPM 4101-94.

PtIr etalóny sa používajú na kalibráciu sekundárnych etalónov hmotnosti 1 kg z nehrdzavejúcej nemagnetickej ocele v intervale raz za 3 - 4 roky. Na túto činnosť sa používajú hlavné váhy, zariadenie na určenie hustoty vzduchu a mikrováhy Sartorius S4. Prítom sa využíva pracovný etalón hmotnosti v rozsahu 1 mg až 1 kg.

PtIr etalóny sa nadväzujú v BIPM Sevres v intervale 20 rokov na kópie medzinárodného prototypu kilogramu.

Sekundárne etalóny hmotnosti 1 kg sa používajú na realizáciu stupnice hmotnosti v rozsahu 1 mg až 50 kg, t.j. na kalibráciu pracovných etalónov hmotnosti primárneho etalonážneho rádu (PER) metódou súbernej skúšky v intervale raz za dva roky. **Súbory sa podľa možnosti kalibrujú tak, aby polovica súborov bola kalibrovaná v bežnom roku, druhá polovica v nasledujúcom roku, čím sa vytvorí predpoklad, že polovica používaných súborov má kalibráciu nie staršiu ako 1 rok.**

**Pracovné etalóny sa kalibrujú v intervale dva až tri roky - podľa potreby a intenzity používania.**

Kalibrácia etalónov hmotnosti sa uskutočňuje na váhach SMÚ 1 kg, Sartorius CC20, SMÚ 10 kg, SMÚ 100 kg, Mettler AT 1006, AT 1005, AT 106 a UMX5.

Sekundárne etalóny hmotnosti 1 kg a nimi nadviazané pracovné etalóny hmotnosti sa používajú aj na medzinárodné porovnávacie merania. Medzinárodné porovnávacie meranie sa vykonáva vždy po nadviazaní sekundárnych etalónov na PtIr etalóny. Sekundárne etalóny sa medzinárodne porovnávajú v rámci meraní organizovaných BIPM. Pri pracovných etalónoch PER sa porovnáva aspoň jedno závažie z každej dekády s ekvivalentnými etalónmi hmotnosti niektorého z popredných metrologických ústavov, resp. v rámci regionálnych metrologických organizácií.

Pracovné etalóny hmotnosti PER sa používajú pre kalibráciu etalónov hmotnosti nižších rádov nachádzajúcich sa v SMÚ a v kalibračných laboratóriách. Etalóny nižších rádov sa používajú v zmysle schémy nadväznosti na všetky etalonážne práce - t.j. na kalibráciu pracovných závaží a váh.

### **- Podmienky pri skúšaní**

Do miestnosti kde sa kalibrujú závažia sa nevstupuje počas váženia. V prípade potreby prerušiť meranie, uskutoční sa toto po skončení váženia daných závaží, resp kombinácií závaží.

Na automatických zariadeniach na kalibráciu súprav závaží sa meranie neprerušuje - prebieha zväčša v noci.

Teplota v miestnosti musí byť stála a musí sa udržiavať v medziach  $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$

Ak sa v priebehu skúšania teplota mení, táto zmena teploty vo váhach nesmie prekročiť

-  $0,5^\circ\text{C} / \text{h}$  pri práci na mechanických jednomiskových analytických váhach Mettler a Sartorius

-  $0,2^\circ\text{C} / \text{h}$  pri práci na komparátorových mechanických váhach SMU, alebo elektronických komparátorových váhach pri porovnávaní oceľových etalónov.

-  $0,05^\circ\text{C} / \text{h}$  pri meraní na hlavných váhach a váhach Mettler AT 1006 pri porovnávaní ocele - PtIr.

Relatívna vlhkosť vzduchu v miestnosti musí byť (20 až 70) %.

### **- Zásady manipulácie so závažiami**

Závažia sa pri manipulácii uchopia :

- pinzetou s hrotmi chránenými plastickým materiálom ( 1 mg -100 g )
- jednoúčelovými kliešťami s čeľusťami potiahnutými odmastenou jelenicou ( 20 g až 1 kg )
- rukavicami z jelenice, alebo v optickej utierke ( nadkilogramové závažia )
- nakladacím držiakom pre 20 kg závažia
- nakladacím držiakom pre 50 kg závažia (dvaja ľudia)
- rukami - pre 40 kusov 50 kg závaží (dvaja ľudia)

V prípade že sa závažie omylom uchopí rukou, musí sa očistiť a následne stabilizovať.

Pri nakladaní na miskú sa závažia kladú tak, aby ťažisko skupiny závaží (jedného závažia) bolo čo najbližšie k zvislej osi misky ( k stredu misky). Do správnej polohy sa na automatických zariadeniach závažia dostanú centrovaním v zmysle návodu.

Pri nakladaní závažia sa od okamihu prvého dotyku s miskou nesmie meniť poloha závažia - teda závažie sa nesmie ťahať po miske aby sa dostalo do stredu ( správnej polohy). Ak treba závažie premiestniť, zdvihne sa z misky a položí na správne miesto.

Rýchlosť nakladania závaží na miskú v automatických zariadeniach je  $1/15 \text{ mm.s}^{-1}$ .

Pri nakladaní závaží rukami rýchlosť naloženia musí byť menšia ako  $5 \text{ mm.s}^{-1}$ .

### **- Príprava závaží :**

- pred meraním sa závažia vyberú z krabice a uložia sa pod skleneným zvonom na sklenenej podložke, alebo optickej utierke

-

- oceľové závažia zákazníkov sa očistia čistým liehom na vate a nechajú sa pod skleneným zvonom stabilizovať . Doba stabilizácie je určená triedou presnosti a teplotným rozdielom medzi miestom merania a miestom pôvodného uloženia závaží. Doba stabilizácie je určená OIML R 111. - asi 24 hodín pred meraním - pozri PP 01/220, resp PP 02/220.

- PtIr etalóny sa čistia len v mimoriadnom prípade - na základe rozhodnutia ved. lab. hmotnosti. Čistia sa otrepaním benzénom na odmastenej jelenici, liehom na odmastenej jelenici a prúdom pary redistilovanej vody. Stabilizujú sa týždeň pod skleneným zvonom.

Odmastená jelenica sa pripravuje ponechaním tri dni v benzéne a následne tri dni v liehu.

- oceľové závažia lab. hmotnosti sa bežne nečistia. O čistení rozhoduje ved. lab. hmotnosti.

### **- Príprava váh :**

Príprava váh spočíva , ak je potrebné, vo vložení teplomera do skrine a spustení teplomera a barometra ( pol hodinu pred meraním ).

Elektronické komparátorové váhy Sartorius a Mettler ( vo všeobecnosti všetky elektronické váhy ) musia byť trvalo zapojené v sieti, inak je potrebné aby boli zapojené v sieti 8 hodín pred meraním.

Závažia sú pri váhach položené na optickej utierke, alebo na sklenenej doske, alebo na plexisklovom odkladacom podstavci.

Pred meraním sa kontroluje citlivosť váh naložením etalónového závažia na váhy.

U netlmených váh sa citlivosť neustále meria.

U elektronických váh sa kontroluje citlivosť naložením príslušného závažia a podľa potreby novou justážou rozsahu ( tzv. kalibrácia, funkciou - klávesou - "cal" ) sa uvedie do správnej hodnoty.

#### - **Pracovné postupy, návody a počítačové programy**

Pri práci so NE hmotnosti sa postupuje podľa nasledovných Pracovných postupov a návodov :

R. Spurný, J. Bičárová : Pracovný postup SMÚ č. 01/220/05 - Priama porovnávacía metóda kalibrácie etalónov hmotnosti

R. Spurný, J. Bičárová : Pracovný postup SMÚ č. 02/220/06 - Súborná skúška etalónov hmotnosti

R. Spurný, J. Bičárová : Pracovný postup SMÚ č. 03/220/00 - Meranie hustoty vzduchu

R. Spurný, J. Bičárová : Pracovný postup SMÚ č. 04/220/06 - Meranie objemov závaží a hustôt referenčných kvapalín.

R. Spurný, J. Bičárová : Pracovný postup SMÚ č.05/220/10 – PP na skúšanie váh s neautomatickou činnosťou pre účely kalibrácie, overovania a posudzovania zhody.

R. Spurný : Návod na obsluhu hlavných váh SMÚ

R. Spurný : Návod na obsluhu etalónových váh SMÚ 1 kg

R. Spurný : Návod na obsluhu etalónových váh SMÚ 10 kg

I. Priecl : Návod na obsluhu etalónových váh SMÚ 100 kg

R. Spurný, J. Bičárová : Návod na obsluhu automatu na kalibráciu závaží v rozsahu 1 kg až 10 kg ( Sartorius CC 10000 )

R. Spurný, J. Bičárová : Návod na obsluhu automatu na kalibráciu závaží v rozsahu 1 kg až 100 g ( Mettler AT 1005 )

R. Spurný, J. Bičárová : Návod na obsluhu automatu na kalibráciu závaží v rozsahu 100 g až 1 g ( Mettler AT 106 )

R. Spurný, J. Bičárová : Návod na obsluhu automatu na kalibráciu závaží v rozsahu 1 g až 1 mg ( Sartorius CC 20 )

R. Spurný, J. Bičárová, L. Snopko : Návod na obsluhu automatu na kalibráciu závaží v rozsahu 20 kg až 5 kg ( Mettler KA 30P )

Návod na obsluhu komparátorových elektronických váh Mettler AT

Návod na obsluhu komparátorových elektronických váh Mettler AT 1006

Návod na obsluhu zariadenia na meranie hustoty vzduchu Mettler Klimet A30

Počítačové programy používané v laboratóriu hmotnosti sú spracované v súlade s pracovnými postupmi – ide o PP 01/220/05, PP 02/220/06, PP 05/220/10, pričom hustota vzduchu vo všetkých programoch sa počíta v súlade s PP 03/220/00.

V automatických zariadeniach na kalibráciu súprav závaží sa používajú programy, ktoré v zmysle PP 02/220/06 vykonávajú riadenie meracieho procesu, snímajú potrebné údaje (údaje váh, teplota, tlak, vlhkosť vzduchu), spracujú záznam o meraní, spracujú namerané údaje a vypočítajú údaje na certifikát o kalibrácii. Programy v rámci protokolu tlačia aj bilanciu neistôt na každé meranie. Takto pracujú programy

XP203sA-C.bas – pre automat 20 kg

XP103sA-C.bas – pre automat 10 kg

Aut1kg7A-C.bas – pre automat 1 kg

1kgkl7A-C.bas – pre automat 1 kg s Klimetom

Aut107A-C.bas – pre automat 100 g

Aut1g6A-C.bas – pre automat 10 g

Pre všeobecné účely – pre spracovanie údajov pri meraní pomocou kalibračných schém podľa PP 02/220/06 sa používa program scal27A-C.bas. Pre kalibráciu oceľových etalónov podľa PtIr sa používa program kalptA-C.bas

Pre použitie priamej porovnávacej metódy podľa PP 01/220/05 sa používajú programy Ppmvpm9.bas, alebo kalzav.xls

Pri kalibrácii váh v zmysle PP 05/220/10 sa používajú programy MNSVV9.bas – preloženie polynómu mnš cez namerané chyby  
Korvah9C.bas – opakované zaťaženie v každom skúšanom bode

#### **- Prehliadky a údržba ( čistenie, spôsob kontroly medzi termínmi rekalibrácie )**

Metrologické parametre PtIr etalónov hmotnosti sa v SMÚ nedajú priamo kontrolovať, musia sa preto uchovávať tak, aby sa vytvorili predpoklady na zachovanie ich konštantnej hmotnosti. PtIr etalóny sa rekalibrujú v BIPM Sevres v intervale 20 rokov ( každých 10 rokov sa rekalibruje jeden z nich ).

V období medzi rekalibráciou sa PtIr etalóny navzájom porovnávajú ( pri kalibrácii oceľových etalónov ) a tak sa sleduje stabilita rozdielu ich hmotnosti.

Medzi termínmi rekalibrácie sa PtIr etalóny kontrolujú nepriamo pomocou oceľových sekundárnych etalónov .

Sekundárne etalóny nadviazané na PtIr etalóny pri medzinárodných porovnávacích meraniach indikujú správnosť stupnice hmotnosti a tým aj stabilitu hodnoty hmotnosti PtIr etalónov v rámci neistoty týchto meraní.

Etalóny sú uložené v klimatizovanom laboratóriu, do ktorého voľne vstupujú iba pracovníci lab. hmotnosti. Vedúci pracovníci ústavu a poprední špecialisti z metrológie hmotnosti zo zahraničných ústavov do týchto miestností vstupujú iba v sprievode pracovníkov obsluhujúcich NE hmotnosti.

Metrologické parametre oceľových etalónov hmotnosti 1 kg nadviazaných na PtIr etalóny sa kontrolujú pri ich rekalibrácii raz za 3 - 4 roky.

Metrologické parametre oceľových etalónov slúžiacich na realizáciu stupnice hmotnosti sa kontrolujú každý rok pri ich rekalibrácii ( pri nadviazaní na oceľové sekundárne etalóny 1 kg ).

Metrologické parametre etalónových váh sa kontrolujú pri každom ich použití - každé meranie s váhami dáva obraz o aktuálnych metrologických parametroch váh.

Na etalónových váhach SMÚ sa každý rok vykonáva udržovacia justáž misky a nakladacieho mechanizmu, justáž vahadla (rovnobežnosti britov) sa vykonáva len v prípade zníženia metrologických parametrov váh, prípadne pri ich výmene.

### **- Podmienky zachovania metrologických parametrov NE hmotnosti**

Metrologické parametre NE hmotnosti sú určené metrologickými parametrami PtIr etalónov číslo 41 a 65, ako aj parametrami etalónových váh a parametrami zariadenia na meranie hustoty vzduchu.

Pokiaľ oba PtIr etalóny nevratne nezmenia svoje parametre, je NE hmotnosti funkčný. K súčasnej nevratnej zmene parametrov PtIr etalónov môže dôjsť len pri neodbornej manipulácii, pri havárii váh a pri náhodnej hrubej nehode (pád závažia pri prenose). Pri predpísanej manipulácii a pri bežnom vážení nemôže nastať poškodenie PtIr etalónov.

Poškodenie etalónových váh je možné odstrániť - u váh vyrobených v SMÚ vlastnými silami.

Pri kalibrácii etalónov hmotnosti a pracovných závaží sa posudzuje nameraná hodnota s predchádzajúcim meraním (čo je možné pri etalónoch SMÚ a u všetkých pravidelne kalibrovaných závaží zákazníkov) - teda sledujú sa trendy vývoja kalibrovaných meradiel. Pokiaľ rozdiel údajov nie je väčší ako súčet rozšírených neistôt týchto meraní, výsledok je akceptovaný. Pokiaľ je rozdiel väčší, vykoná sa analýza nameraných údajov. Keď výsledok analýzy neumožňuje rozhodnúť, alebo ukazuje na nesprávne meranie, meranie sa zopakuje.

Ďalším spôsobom kontroly výsledkov v etalonáži hmotnosti, pri kalibrácii súprav závaží metódou súbernej skúšky, je doplnenie súpravy o známy etalón (etalón SMÚ, ktorého hodnota bola určená pri predchádzajúcich kalibráciách) a sledovanie aktuálne dosiahnutej hodnoty tohto etalónu. Toto sa často používa, nakoľko súpravy zákazníkov často je potrebné doplniť, aby sa dali kalibrovať v automatickom režime práce zavedenom v laboratóriu hmotnosti. Posledným spôsobom kontroly, používaným vo všetkých veličinách centra je opakovanie meraní, ktoré sa vykonáva preventívne, alebo v prípade vysokej smerodajnej odchýlky merania.

Etalónové váhy a automatické zariadenia na kalibráciu súprav závaží sa kontrolujú pri každom meraní - výsledná smerodajná odchýlka je dôkazom správnej činnosti váh. V prípade že smerodajná odchýlka merania váh dosahuje výrobcom stanovenú hodnotu je jasné, že váhy pracujú dobre a že váženie bolo správne vykonané. Takýmto spôsobom sa každé meranie hodnotí individuálne a nevznikne potreba sledovať vznik chybnej kalibrácie späť. Pre spätnú kontrolu možného vzniku takýchto chýb slúžia záznamy jednotlivých vykonaných meraní.

V prípade vzniku poruchy váh, ktorá je indikovaná neprípustne vysokou smerodajnou odchýlkou merania, sa váhy nesmú používať až do opravenia. Takéto váhy sa okamžite označia príslušným štítkom o zákaze používania. Pred znovu uvedením do prevádzky sa opravené váhy musia prekontrolovať a justovať resp. kalibrovať.

Hodnoty smerodajných odchýlok merania, označené  $s_0$ , uvedené tab. 1 - prvý stĺpec pri názvoch etalónových váh - sú limitné hodnoty ktoré nesmú byť za normálnych podmienok merania prekročené. Ak váhy vykazujú vyššiu smerodajnú odchýlku merania ako je uvedené v 1, je potrebné prekontrolovať ich stav a zistiť či nie sú pokazené.

Všetky meradlá patriace do zostavy NE hmotnosti je možné kedykoľvek vymeniť a nahradiť meradlom rovnakých metrologických parametrov (z hľadiska technických požiadaviek).

Pomocné zariadenia používané pri meraní môžu byť vymenené za zariadenia rovnakých technických parametrov, bez ovplyvnenia metrologických parametrov NE hmotnosti. Počas poruchy niektorého z týchto zariadení, kým nie je nahradené, NE neplní svoju funkciu v plnom rozsahu. Etalonáž hmotnosti - najmä nadväzovanie etalónov nižších rádov však tým nie je narušená, nakoľko na túto činnosť sa používajú ďalšie prístroje a etalóny laboratória hmotnosti a hustoty SMÚ.

**Tabuľka 1 Rekalibračné intervaly meradiel laboratória hmotnosti a limitné hodnoty smerodajných odchýlok komparátorových váh pri kalibrácii závaží**

Zariadenie/ Štatút etalónu	Typ	Výrobné číslo/ označenie	Rekalibračný interval	Miestnosť č.	Por. č.
Primárny etalón hmotnosti	PtIr etalón No 41, No 65 hmotnosť 1 kg	DK III 43 DK III 112	20 rokov	H 105 trezor	1
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	súprava Pt závaží 1 mg - 500 mg	PtI, PtIII, mgIV	2 roky	H 105	2
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	Etalóny hmotnosti 1 kg	E1, 02, 04, 07, E4 až E10	3 až 5 rokov	H 105, H 107	3
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	Etalóny hmotnosti 1 g až 1kg	02-80, E5, E6, E7, E8	2 roky	H 105, H 107	4
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	Etalóny hmotnosti 1 g až 500 g	E1, E2,E3, E4	2 roky	H 107	5
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	Etalóny hmotnosti 1 kg až 10 kg	P6, P7, 002, 004, 005	2 roky	H 109, H 105	6
Sekundárny etalón primárneho etalonážneho rádu	Etalóny hmotnosti 10 kg až 50 kg	P6	2 roky	H 104	7
Pracovný etalón	Etalóny hmotnosti 1 kg	N1, N2,	1 rok	H 107	8
Pracovný etalón	Etalóny hmotnosti 100 mg až 100 g	243	1 rok	H 109	9
Pracovný etalón	Etalóny hmotn 1g až 500 g	016, 017, P4, P5 1-87, 2-87	1 rok	H 105, H 107	10
Pracovný etalón	Etalóny hmotn 1 g až 1kg	T1, T2, 01-81	1 rok	H 105	11
Pracovný etalón	Etalóny hmotn 1kg až 10 kg	P1, P2, P4, P5	1 rok	H 104	12
Pracovný etalón	Etalóny hmotnosti 20 kg až 50 kg (40 ks)		1 rok	H 104	13
Komparátorové váhy 1 kg Mettler AT 1005 $s_0 = 0,02\text{mg}$	Automat pre kalibráciu sú- prav závaží v rozsahu 1 kg až 100 g	111 725 1187	kontrola pri každom meraní	H 107	14
Komparátorové váhy 100g Mettler AT 106 $s_0 = 0,003\text{ mg}$	Automat pre kalibráciu sú- prav závaží v rozsahu 1 00 g až 1 g	111 75 00 448	kontrola pri každom meraní	H 107	15
Komparátorové váhy 1000g Mettler AT 1006 $s_0 = 0,003\text{ mg}$	substitučné komparátorové elektronické váhy	III 06807	kontrola pri každom meraní	H 107	16
Mikrováhy 4,2 g Sartorius S4, $s_0 = 0,001\text{ mg}$	Elektromagneticky kompen- zované váhy	III 05536	kontrola pri každom meraní	H 105	17
Etalónové váhy SMU vá- živosti 1 kg, $s_0 = 0,005\text{ mg}$	Substitučné komparátorové mechanické váhy	III 05867	kontrola pri každom meraní	H 105	18
Etalónové váhy SMU vá- živosti 10 kg, $s_0 = 0,1\text{ mg}$	Substitučné komparátorové mechanické váhy	III 05531	kontrola pri každom meraní	H 105	19
Elektron. mikrováhy 20g Sartorius CC20, $s_0 = 0,005\text{ mg}$	Automat pre kalibráciu sú- prav závaží v rozsahu 1 g až 1 mg	51001017	kontrola pri každom meraní	H 109	20
Komparátorové váhy SMU 100 kg. $s_0 = 5\text{ mg}$	Elektromagneticky kompenz váhy so zabudov. závažiami	III 05836	kontrola pri každom meraní	H 104	21
Komparátorové váhy 10kg Sartorius C10000, $s_0 = 2\text{ mg}$	Automat pre kalibráciu sú- prav závaží v rozsahu 1 kg až 10 kg	80101678	kontrola pri každom meraní	H 109	22



<i>Zariadenie/ Štatút etalónu</i>	<i>Typ</i>	<i>Výrobné číslo/ označenie</i>	<i>Rekalibračný interval</i>	<i>Miestnosť č.</i>	<i>Por. č.</i>
Zariadenie na meranie hustoty vzduchu	Klimet A30		1 rok	H 107	23
Teplomer	ASL F 250	III	1 rok	H 105	24
Barometer	Paroscientific model 740-16B	III 06076	1 rok	H 105, H 107	25
Vlhkomer	Testo typ 0563	III 06291	1 rok	H 105, H 107	26

## Nová definícia jednotky hmotnosti kilogramu

### 1. Historický úvod

Pri založení metrickej sústavy (v 19 storočí) sa aplikovala idea definície jednotiek základných fyzikálnych veličín na princípe univerzálnej dostupnosti – teda možnosti obnovenia realizácie jednotky. Tak bol za jednotku dĺžky zvolený meter – ako desať milióntina zemského štvrt'poludníka a za jednotku hmotnosti kilogram – ako 1 decimeter kubický destilovanej vody.

Obe definície boli materializované:

- etalón dĺžky ako tyč prierezu nerovnoramenného X z platiny irídia kde vzdialenosť 1 m je realizovaná vzdialenosťou medzi ryskami na ploche idúcej ťažiskom prierezu.
- etalón hmotnosti vo forme platinoirídiového valca priemeru a výšky 39 mm.

Neskôr sa však zistilo, že pôvodné merania dĺžky štvrt' poludníka neboli dostatočne presné, a napokon že dĺžka štvrt' poludníka na severnej pologuli a na južnej pologuli je rôzna. Podobne sa objavili aj problémy s určením hustoty vody a teda hodnota kilogramu nezodpovedala pôvodnej definícii.

Preto sa ustúpilo od princípu univerzálnej definície a za jeden meter a jeden kilogram sa použila definícia na základe už realizovaných jednotiek:

- meter ako vzdialenosť medzi dvomi vrypami na PtIr tyči
- kilogram ako hmotnosť PtIr prototypu - valčeka uloženého v BIPM.

V priebehu vývoja sa metroológovia snažili nahradiť uvedené definície tak aby sa vylúčilo použitie prototypu za definíciu metra a kilogramu a aby sa opäť pristúpilo k univerzálnej definícii. V oblasti dĺžky sa to podarilo definíciou metra ako násobku vlnovej dĺžky žiarenia kryptónovej lampy, pričom počet vln na 1 meter sa počíta pomocou interferometra. Neskôr, po zdokonalení laserov ako zdrojov svetla o stabilnej vlnovej dĺžke a vysokej koherencie sa zmenila definícia metra pomocou rýchlosti svetla, pričom pôvodná dĺžka určená vzdialenosťou medzi vrypami na PtIr tyči sa zachovala, podobne aj realizácia metra pomocou interferometra.

V metroológii hmotnosti sa však aj napriek mnoho desaťročnému úsiliu vedcov v oblasti základného výskumu vo fyzike aplikovaného na metrologiu sa nedarilo pripraviť univerzálnu definíciu jednotky hmotnosti, ktorá by poskytovala vyššiu reprodukovateľnosť ako definícia súčasná.

O potrebe zmeny definície jednotky hmotnosti svedčí aj fakt, že výsledky tretieho periodického porovnania PtIr etalónov hmotnosti (8), spolu s predchádzajúcim porovnaním konštatovali max rozsah zmien hmotnosti PtIr etalónov až 50  $\mu\text{g}$  za sto rokov vzhľadom k medzinárodnému prototypu, – čo môže byť spôsobené aj zmenou hmotnosti medzinárodného prototypu kilogramu.

### 2. Smery výskumu a rozvoja v metroológii hmotnosti

Na základe výzvy BIPM (zasadnutie CCM v roku 1981 ako aj nasledovné zasadania CCM a CIPM) o intenzifikáciu prác v oblasti hmotnosti s cieľom monitorizácie stability etalónov hmotnosti a určenia novej definície jednotky hmotnosti ako aj pre zníženie neistoty merania

hmotnosti a odovzdanie stupnice hmotnosti do praxe s najvyššou možnou presnosťou sa popredné metrologické pracoviská začali zaoberať otázkou novej definície jednotky hmotnosti.

## 2.1 Práce na stanovenie novej definície jednotky hmotnosti .

V snahe nahradiť definíciu jednotky hmotnosti , stelesnenú PtIr medzinárodným prototypom hmotnosti, pracuje sa na viacerých možnostiach náhrady kilogramu definíciou založenou na fyzikálnych konštantách, t.j. definíciou umožňujúcou reprodukciu a realizáciu jednotky hmotnosti. Z viacerých smerov sa najďalej dostal výskum v realizácii kilogramu pomocou Avogadrovej konštanty a wattových váh.

Výskum sa ďalej zameriava na akumuláciu jónov zlata, levitáciu v kvantovom magnetickom toku a na napät'ové váhy (7).

### 2.1.1 Spresnenie Avogadrovej konštanty

Avogadrova konštanta  $N$  – počet častíc pripadajúcich na 1 mól danej látky bol v roku 1910 určený na základe elementárneho náboja elektrónu  $e$  a Faradayovej konštanty  $F$  :  
 $N = F/e$  s relatívnou neistotou  $10^{-3}$ .

Neskôr sa realizovalo meranie kryštálovej štruktúry pomocou röntgenovej difrakcie čo viedlo k určeniu veľkosti kryštálovej mriežky – čo je spôsob používaný na určenie Avogadrovej konštanty dnes.

Na základe merania na kryštále kremíku kde  $m$  - hmotnosť,  $V$  – objem,  $M$  – molárna hmotnosť,  $v_0$  – objem jednej bunky kryštálovej mriežky,  $n$  – počet atómov v jednej bunke kryštálovej mriežky sa Avogadrovo číslo stanoví zo vzťahu

$$N = (M.V / m) / (v_0 / n) \quad (1)$$

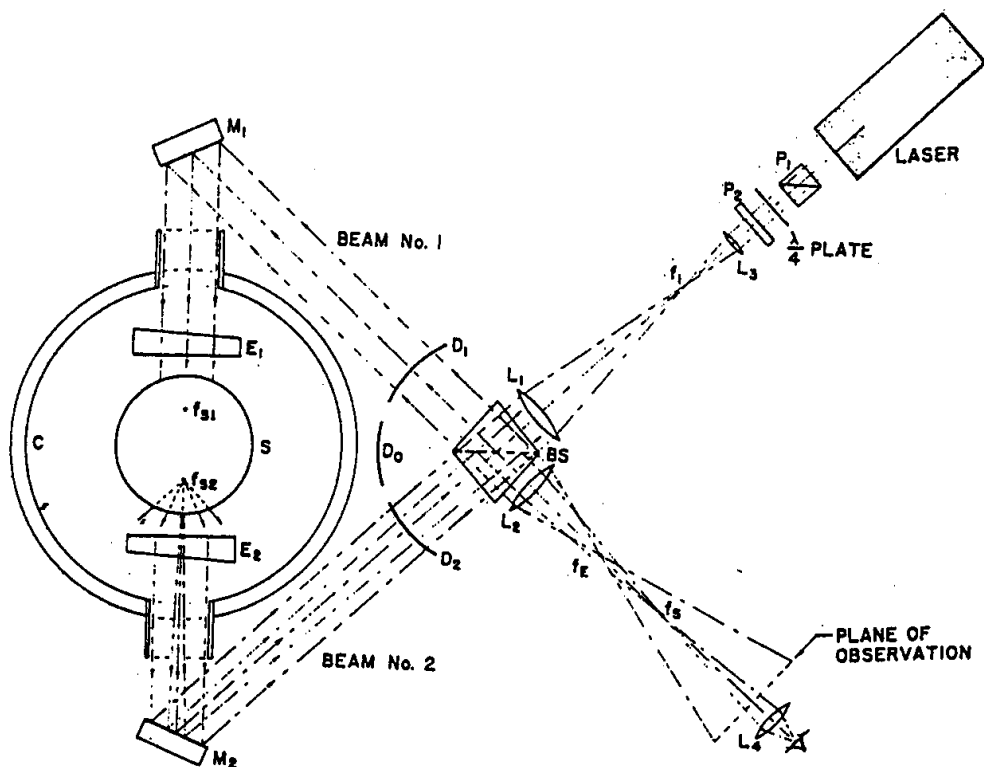
Výraz  $V_{\text{vol}} = M.V / m$  sa nazýva molárny objem.

Ak  $v_0$  je určené röntgenovou difrakciou, vidíme, že určenie Avogadrovo čísla závisí na hustote materiálu  $m / V$ .

Pre určenie hustoty kremíku s vyhovujúcou neistotou bol vykonaný rad prác ktoré viedli k založenie stupnice hustoty na báze pevných telies (1). Pre stupnicu hustoty kvapalín a pevných telies tak prestala používať ako referenčná hodnota hustota vody, hoci prenos z etalónov na báze pevných telies sa naďalej realizuje hydrostatickým vážením (2).

Realizovali sa kremíkové guľičky hmotnosti približne 1 kg, ktorých guľovitosť je 10 násobne lepšia ako guľovitost' guľiek z guľčkových ložísk. Objem takýchto guľičiek sa určil výpočtom z merania priemeru pomocou špeciálne skonštruovaného interferometra – tzv Saundersovho interferometra (3) .

Saundersov interferometer pozostáva zo stabilizovaného lasera s optikou, polopriepustného zrkadla BS, zrkadiel M1, M2, etalónu E1, E2 , clony D a optiky na sledovanie interferenčných obrazcov. Etalón E tvoria dve rovnobežné roviny dvoch sklenených blokov. Keď guľa nie je v dutine etalónu a clona je v polohe  $D_0$ , interferometrom možno určiť vzdialenosť  $d_{E1E2}$  etalónov od E1 po E2 (Fábry –Perotov interferometer). Keď je guľa vložená medzi etalóny E1 a E2, pri clone v polohe D1 sa určí vzdialenosť  $d_1$  medzi E1 a guľou, pri clone v polohe D2 sa určí vzdialenosť  $d_2$  medzi E2 a guľou. Z toho sa určí priemer gule.



Obr. 1. Saundersov interferometer

Guľa pre tento experiment sa zvolila preto, že guľu možno realizovať s najmenším rozdielom medzi teoretickým a reálne vyrobiteľným telesom. Zatiaľ čo kocka (kváder) má problémy s rovinnosťou a rovnobežnosťou stien, ako aj s hranami, guľa má len jeden rozmer a preto je ľahšie realizovateľná. Ukázalo sa, že transformácia z ideálnej gule na reálnu, pokiaľ reálna guľa nemá hrany a jej povrch je zložený len z konvexných kriviek (nie je teda na povrchu konkávna krivka) spôsobí neistotu určenia objemu o dva rády menšiu (4) ako odpovedá neistote objemu vyplývajúcej z neistoty určenia priemeru gule.

Keď sa teda objem gule určil z interferometricky meraných priemerov, stačilo hmotnosť určiť vážením s neistotou v oblasti  $10^{-7}$  a tým sa definoval jeden bod stupnice hustôt. Ostatné body stupnice sa pokrývajú hydrostatickým vážením (2) v kvapaline ľubovoľnej (avšak konštantnej) hustoty.

Dnes sa guľičky pre definíciu stupnice hustôt na báze pevných telies vyrábajú zo kremíku pričom na hmotnosť 1 kg pripadajú guľičky priemeru asi 94 mm.

Týmto technikami sa v 90 tých rokoch získala hodnota Avogadrovej konštanty

$$N = 6,022\ 1379 (1 \pm 4.10^{-7}) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

V roku 2002 bola hodnota Avogadrovej konštanty (CODATA) stanovená na (13)

$$N = 6,022\ 14\ 15 (1 \pm 1,7.10^{-7}) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

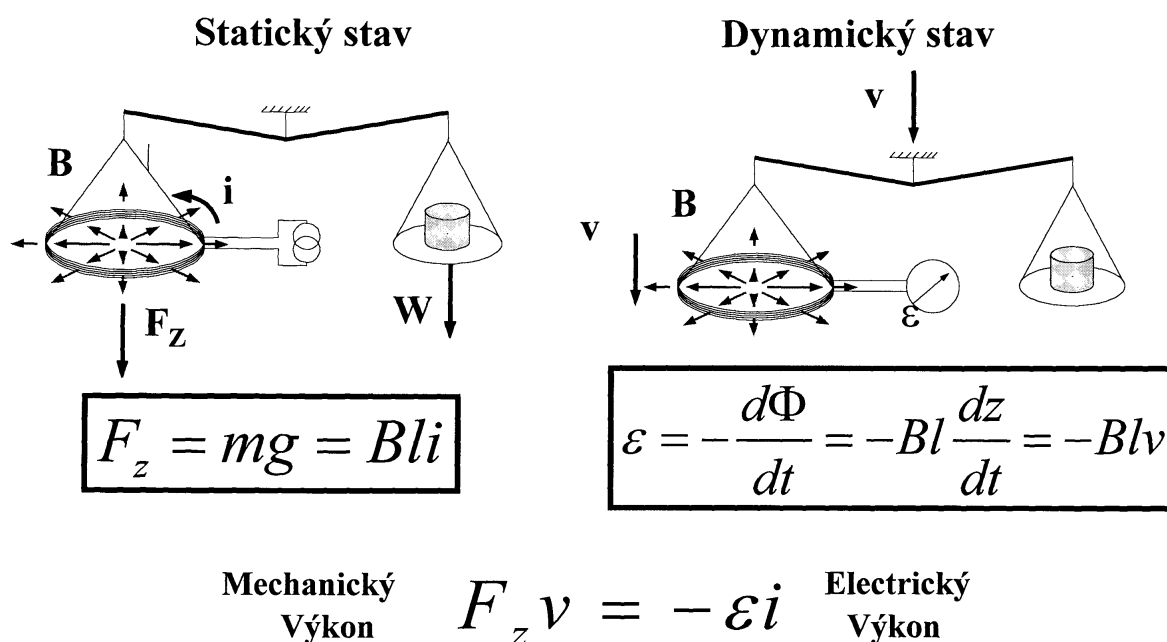
V súčasnosti prebieha rozsiahly medzinárodný projekt s cieľom spresnenie Avogadrovej konštanty financovaný Európskou úniou. V rámci tohto programu (18)

- Rusko – produkuje obohatený kremík (5 kg)
- Nemecko – pestovanie kryštálu bez poruchy mriežky
- EU-IRMM – určenie molárnej hmotnosti
- Austrália – výroba guľičiek hmotnosti 1 kg
- Japonsko NMIJ – určenie objemu guľičiek
- Taliansko IMGC – mriežková konštanta
- BIPM – hmotnosť guľičiek
- Nemecko PTB, VITCON hustota materiálu a koordinácia projektu.

### 2.1.2 Wattové váhy

Wattové váhy (15) sú zariadenie na ktorom sa účinok elektromagnetickej sily medzi cievkou a magnetickým pólom vyvažuje závažím v gravitačnom poli.

## PRINCÍP ( B.P. Kibble)



Obr 2 – Princíp činnosti wattových váh

Uvažujme cievku, v ktorej je prúd intenzity  $i$ , zavesenú na závесе váh a umiestnenú do homogénneho magnetického poľa elektromagnetickej indukcie  $B$ . Ak dĺžka vodiča v cievke je  $l$ , potom sila  $F$  pôsobiaca na cievku je

$$F = B \cdot l \cdot i$$

Táto sila je kompenzovaná váhami – alebo závažím hmotnosti  $m$  v gravitačnom poli s tiažovým zrýchlením  $g$ . Teda

$$F = m \cdot g = B \cdot l \cdot i \quad (2)$$

Uvažujme tú istú cievku stojacu v magnetickom poli magnetu pohybujúceho sa vo vertikálnom smere rýchlosťou  $v$ . V cievke sa potom indukuje napätie

$U = d\Phi/dt$ , kde  $\Phi$  je magnetický tok pretínajúci cievku,  $z$  je súradnica vo vertikálnom smere,  $t$  je čas. potom  $\Phi = B \cdot l \cdot dz$  a teda

$$U = B \cdot l \cdot v. \quad (3)$$

Z rovníc (2) a (3) dostávame

$$m \cdot g \cdot v = U \cdot i \quad (4)$$

čo predstavuje ekvivalenciu mechanického a elektrického výkonu.

Napätie  $U$  možno merať pomocou Josephsonovho etalónu, potom

$$U = C_1 \cdot U_J = C_1 \cdot (h/2e) \cdot F_J, \quad (5)$$

kde  $U_J$  je výstupné napätie na Josephsonovom etalóne,  $C_1$  je kalibračný koeficient,  $h$  je Planckova konštanta,  $e$  je elementárny náboj elektrónu a  $F_J = j \cdot f_J$ , pričom  $f_J$  je Josephsonova frekvencia a  $j$  počet kvantových skokov napätia.

Podobne prúd  $i$  možno merať ako pokles napätia  $U' = C_2 \cdot (h/2e) \cdot F_J'$  na odpore kalibrovanom pomocou kvantového Hallovoho etalónu odporu. Odpor  $R$  potom môže byť vyjadrený vzhľadom

$$R = C_3 \cdot R_H = C_3 \cdot h/(ne^2), \quad (6)$$

kde  $C_3$  je kalibračná konštanta,  $R_H$  je odpor určený na kvantový halovom etalóne a  $n$  je prirodzené číslo.

Pomocou (5) a (6) môžeme (4) prepísať do tvaru

$$h/m = g \cdot v / (C \cdot F_J \cdot F_J'), \quad (7)$$

kde konštantu  $C$  tvoria kalibračné koeficienty a  $n$ .

Wattové váhy pomocou rovnice (7) vyjadrujú hmotnosť ako funkciu metra, sekundy a Planckovej konštanty, pričom ani geometria cievky, ani magnetický tok nemusia byť známe – musia však mať konštantné hodnoty počas experimentu.

Experiment na tomto princípe sa realizuje pomocou elektronických komparátorových váh (informáciu o elektronických komparátorových váhach poskytuje literatúra (5), (6)), rýchlosť pohybu magnetu (alebo celých váh pri stojacom magnetu) sa meria prostredníctvom interferometra a čítača, elektrické parametre sa merajú najpresnejšími elektronickými zariadeniami

ako Josephsonov jav na meranie napätia, Hallov jav na meranie odporu a s kryogénnym prúdovým komparátorom.

V súčasnosti tento experiment dosahuje reprodukovateľnosť na úrovni  $10^{-8}$ .

Hlavné časti Wattových váh sú (15):

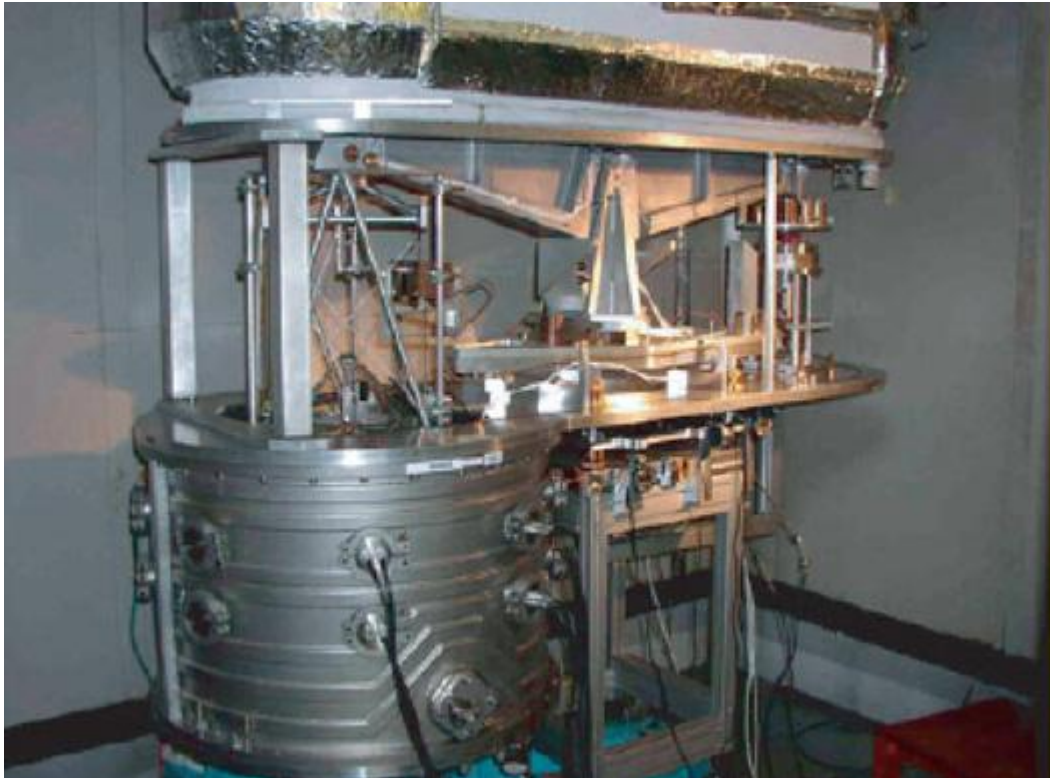
- Magnet na vytvorenie magnetického toku – magnet môže byť permanentný, alebo elektromagnet. Je potrebná vysoká intenzita elektromagnetickej indukcie vo vzduchovej medzere magnetu kde sa bude nachádzať cievka. Pole musí byť homogénne a konštantné v smere pohybu cievky. Je preto výhodné použitie supravodivých cievok
- Snímač sily a jeho záves vrátane pohyblivej cievky – cievka je obyčajne zavesená na elektromagneticky kompenzovaných komparátorových váhach – ktorých opakovateľnosť môže byť vyššia ako  $10^{-9}$
- Zariadenie na pohyb cievky pri dynamickom stave – cievka sa musí pohybovať známou rýchlosťou po definovanej trajektórii. Často sa pri dynamickom stave cievka odpojí od komparátorových váh, alebo sa aj váhy pohybujú s cievkou.
- Zariadenie na meranie a ovládanie polohy a rýchlosti cievky – meranie sa uskutočňuje interferometrom a jeho signál, alebo indukované napätie cievky sa využíva v spätnej väzbe regulátora polohy. Keď cievka prechádza meracou polohou – t.j. polohou v statickom stave, určuje sa pomer  $U/v$  (mal by byť konštantný po celom pohybe)
- Kvantové etalóny na meranie elektrických veličín (meranie napätia v dynamickom stave a prúdu v statickom stave) – v dynamickom stave je vhodné použiť programovateľný Josephsonov etalón
- Etalón hmotnosti – je potrebný etalón hmotnosti s hmotnosťou určenou v ráde  $10^{-9}$ -etalón menší ako kilogram znižuje nároky na cievku
- Gravimeter – absolútny gravimeter s interferometrickým meraním polohy letiaceho kútového odrážača.  $g$  sa meria v polohe etalónu hmotnosti
- Zariadenie na justáž skupiny magnet – cievka. Vertikálna poloha smeru pohybu cievky je definovaná gravimetrom. Cievka sa musí pohybovať v tomto smere, interferometer musí byť tiež nastavený rovnobežne so smerom pohybu cievky. Ťažisko cievky a bod pôsobenia elektromagnetickej sily v statickom stave sa musia zhodovať, inak vzniká rušivý moment sily. Sila cievky musí byť tiež vertikálna – aby sa celá preniesla na záves váh.

Priekopnícke práce v oblasti wattových váh vykonal NPL ešte v 70-tych rokoch. Neskôr NIST vybudoval Wattove váhy (14), na ktorých spolu s váhami NPL (16) sa dosiahli výsledky určujúce dnes platnú hodnotu Planckovej konštanty.

### 2.1.2.1 Wattove váhy NPL (16),(15)

Prvé Wattove váhy zostavené v NPL v 70tych rokoch mali permanentný magnet a pohyblivá cievka pozostávala z plochej do 8 tvarovanej cievky. Váhy o dĺžke ramien 1200 mm sa používali aj na vychýľovanie a pohyb cievky. Magnet z kobalt-somária mal hmotnosť cca 1100 kg a vytváral magnetické pole 0,42 T. Cievka mala 336 závitov o priemere 340 mm. Závažie hmotnosti 1 kg sa v statickom stave vyvažovalo prúdom 16 mA. V dynamickom stave sa indukovalo napätie 0,4 V, pri dĺžke pohybu cievky 40 mm za 120 s. Experiment sa vykonáva vo vákuu 100 až 0,01 Pa. Celkové rozmery zariadenia sú 2x1x1 m.

Váhy boli neskôr modifikované a dosiahla sa na nich hodnota  $h = 6,626\ 070\ 95\ \text{J}\cdot\text{s}$  s relatívnou neistotou  $66\cdot 10^{-9}$  (17).



Obr 3 Wattove váhy NPL

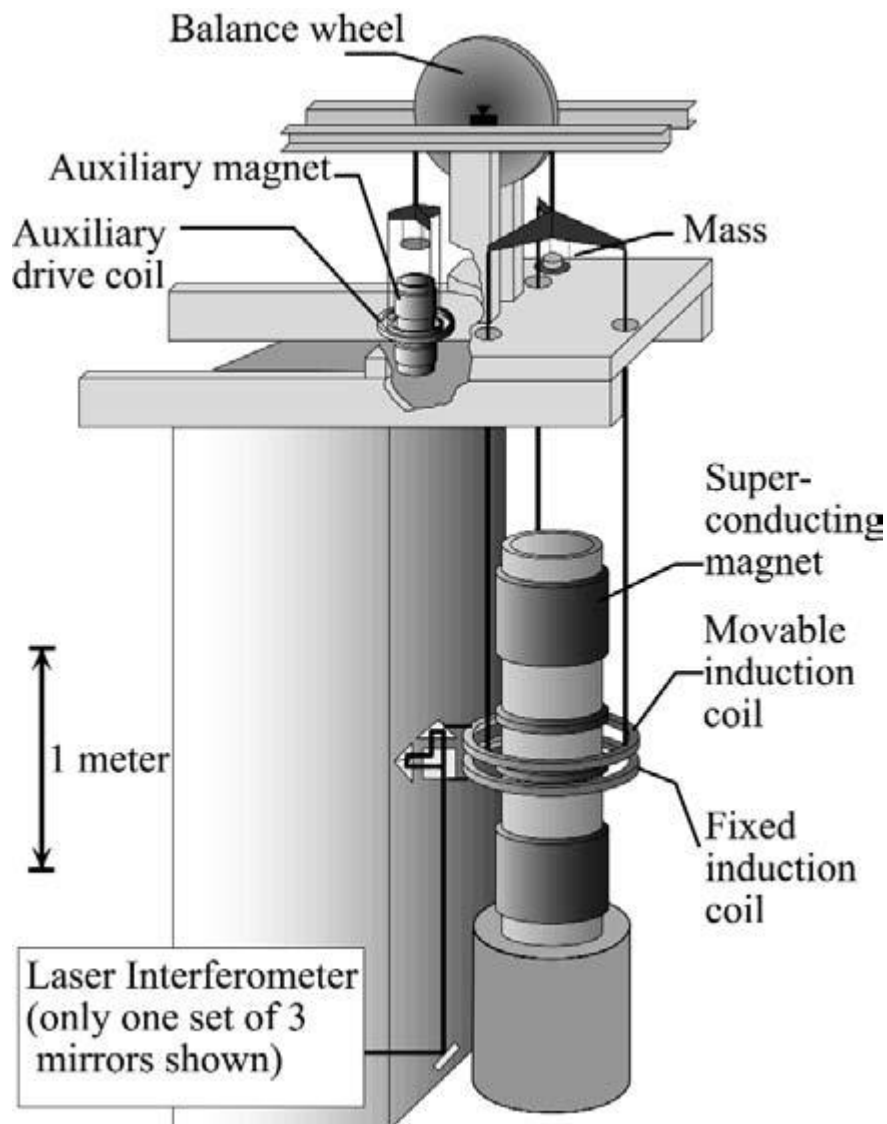
### 2.1.2.2 Wattove váhy NIST (14),(15)

Wattove váhy vybudované v NIST (výška zariadenia 7 m) mali vahadlo nahradené kotúčom priemeru 62 cm na ktorom visí cievka priemeru 70 cm o 2500 kruhových závitoch. Supravodivý elektromagnet vytvára magnetické pole 0,1 T. NIST pracoval so zlatým, neskôr PtIr a oceľovým etalónom hmotnosti 1 kg, ktoré je v statickom stave vyvažované prúdom 10 mA. V dynamickom stave sa indukovalo napätie 1 V, pri dĺžke pohybu cievky 79 mm za 60 s. Experiment sa vykonáva vo vákuu 0,5 Pa. Napätie sa meria na odpore  $100\ \Omega$  pomocou Josephsonovho kvantového etalónu. Celkové rozmery zariadenia sú 3,7x4,5x7 m

V roku 2005 sa na wattových váhach NIST dosiahla hodnota Planckovej konštanty  $h = 6,626\ 069\ 01\ \text{J}\cdot\text{s}$  s relatívnou neistotou  $3,6\cdot 10^{-8}$  (20)

Wattove váhy sú dnes realizované v NPL (po niekoľko desaťročnej práci presunuté do Kanady), NIST, METAS, BNM a BIPM. Na experiment s wattovými váhami sa pripravuje Čína a Kórea.





Obr 4. Wattove váhy NIST

### 3. Príprava novej definície a SI

V posledných rokoch vyústila snaha o novú definíciu sústavy SI a teda aj jednotky hmotnosti a ďalších veličín do rôznych návrhov, zachytených hlavne v literatúre (8), (9), (10), (11), (12), (13). Podľa (19) nová definícia SI bude založená na stanovení fixných hodnôt základných fyzikálnych konštánt, z ktorých budú odvodené hodnoty základných jednotiek. Ako základné fyzikálne konštanty sú zvolené

Hyperjemná štiepiaca štruktúra atómu cézia 133 v základnom stave

Rýchlosť svetla vo vákuu

Planckova konštanta

Elementárny náboj

Boltzmanova konštanta

Avogadrovo číslo

Svetelná účinnosť monochromatického žiarenia frekvencie  $540.10^{12}$  Hz

Základná veličiny sústavy SI sú čas, dĺžka, hmotnosť, intenzita el. prúdu, teplota, látkové množstvo a smerová svietivosť. Sú zoradené tak, aby daná veličina k svojej definícii nepotrebovala veličiny za ňou nasledujúce.

Definície základných jednotiek sú navrhnuté nasledovne (19)

(symbol X v niektorých číselných hodnotách znamená spresnenie do schválenia definície)

Sekunda, s, je jednotka času; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty frekvencie prechodu medzi dvomi hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu atómu cézia 133 pri teplote 0 K na hodnotu presne 9 192 631 770 keď je vyjadrená v jednotke  $s^{-1}$  čo je Hertz

Meter, m, je jednotka dĺžky; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty rýchlosti svetla vo vákuu na hodnotu presne 299 792 458 keď je vyjadrená v jednotke  $ms^{-1}$

Kilogram, kg, je jednotka hmotnosti; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty Planckovej konštanty na hodnotu presne  $6,626\ 06X \cdot 10^{-34}$  keď je vyjadrená v jednotke  $s^{-1}m^2kg$  čo je Js.

Ampér, A, je jednotka elektrického prúdu; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty elementárneho náboja na hodnotu presne  $1,602\ 17X \cdot 10^{-19}$  keď je vyjadrená v jednotke sA čo je C.

Kelvin, K, je jednotka termodynamickkej teploty; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty Boltzmanovej konštanty na hodnotu presne  $1,380\ 6X \cdot 10^{-23}$  keď je vyjadrená v jednotke  $s^{-2}m^2kgK^{-1}$  čo je  $JK^{-1}$

Mól, mol, je jednotka látkového množstva špecifikovaných elementárnych entít, ktoré môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, akékoľvek iné častice, alebo špecifikované skupiny častíc; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty Avogadrovej konštanty na hodnotu presne  $6,022141X \cdot 10^{23}$  keď je vyjadrená v jednotke  $mol^{-1}$ .

Kandela, cd, je jednotka intenzity smerovej svietivosti; jej veľkosť je daná definovaním číselnej hodnoty svetelného účinku monochromatického žiarenia frekvencie  $540 \cdot 10^{12}$  Hz na hodnotu presne 683 keď je vyjadrená v jednotke  $s^3m^{-2}kg^{-1}cd\ sr$ , alebo  $cd\ sr\ W^{-1}$  čo je  $lm\ W^{-1}$ .

Pri definícii kilogramu však stále ide hlavne o rozhodnutie prijať definíciu prostredníctvom Planckovej konštanty (9), alebo Avogadrovho čísla (10).

Vzhľadom na neustále veľký rozdiel medzi výsledkom prác na Avogadrovej konštante a na Wattových váhach (ktorý je stále vo veľkosti okolo 1 mg pri kilograme) nebola ešte prijatá nová definícia jednotky hmotnosti aj napriek viacerým pokusom.

Poradný výbor pre hmotnosť pri BIPM (CCM) v roku 2010 konštatoval, že rozdiel medzi Avogadrovým experimentom a Wattovými váhami musí byť v oblasti dnešnej neistoty kalibrácie kilogramových závaží – t.j. asi 0,020 mg – teda je potrebné 50 krát zmenšiť rozdiel medzi hodnotou kilogramu z Avogadrovho experimentu a z experimentu s Wattovými váhami, aby bolo možné prijať novú definíciu kilogramu.

Podľa predložených dokumentov na jednanie CCM v roku 2010 (brožúra o SI) bude kilogram definovaný nasledovne (19)

**The kilogram, kg, is the unit of mass; its magnitude is set by fixing the numerical value of the Planck constant to be equal to exactly  $6.626\ 068\ 96 \times 10^{-34}$  when it is expressed in the unit  $\text{s}^{-1}\text{m}^2\text{kg}$ , which is equal to Js.**

V súčasnosti je numerická hodnota Planckovej konštanty rovná  $6.626\ 068\ 96 \times 10^{-34}$ . V dôsledku tejto definície dostávame, že kilogram je hmotnosť telesa, ktorého de Broglie-Comptonová frekvencia  $\nu$  je  $(299\ 792\ 458)^2 / (6.626\ 068\ 96 \times 10^{-34})$  hertz,

alebo približne  $1.356\ 392\ 733 \times 10^{50}$  hertz.

Toto vyplýva z faktu, že de Broglie-Comptonová frekvencia  $\nu$  častice hmotnosti  $m$  je  $\nu = mc^2/h$ , a to na základe Einsteinovho vzťahu  $E = mc^2$  a vzťahu medzi energiou a frekvenciou  $E = h\nu$ . Tieto vzťahy vedú k hodnote pre  $\nu$  uvedenej vyššie, keď  $m = 1$  kg,  $c = 299\ 792\ 458$  m s<sup>-1</sup>, and  $h = 6.626\ 068\ 96 \times 10^{-34}$  s<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> kg.

V diskusii na CCM 2010 sa vyslovil názor, že jednotku hmotnosti treba definovať pomocou hmotnosti, nie podľa výkonu. Definícia podľa hmotnosti je napríklad násobok hmotnosti elektrónu, alebo inej elementárnej častice.

Ďalej sa diskusia zaoberala návrhom ohľadom toho, že nie je potrebné čakať na zmenšenie rozdielu medzi Wattovými váhami a Avogadrom, ale že je možné (ako v teplotách) vytvoriť dve stupnice hmotnosti. Jednu teoretickú – s novou definíciou kilogramu a druhú praktickú – používanú na realizáciu merania hmotnosti v praxi. Hoci sa k tomuto názoru prikláňa rad fyzikov, komunita špecialistov z oblasti hmotnosti ju odmieta, nakoľko nevidia potrebu urgentného prechodu k novej definícii jednotky hmotnosti.

V otázke praktickej realizácie novej definície sa CCM priklonil k návrhu pracovníkov BIPM (D03 Mass metrology and the new SI kilogram – literatúra (12)) realizovať nový kilogram ako skupinový etalón z kremíkových guľičiek (Si 28, bez poruchy krištálovej mriežky) o ktorých sa predpokladá že budú mať vyššiu stabilitu hmotnosti ako kovové etalóny (nie je možnosť korózie, dostatočne definovaný tvar, dobrá dnes dosahovaná drsnosť). Nový etalón sa bude udržiavať a vážiť vo vákuu. Preto sa pripravujú a budujú vákuové váhy s transportným zariadením, kde sa bude trvale etalón hmotnosti udržiavať vo vákuu.

Okrem spôsobu realizácie wattových váh podľa NPL, NIST, Metas a riešenia LNE a BIPM sa prezentoval názor zostaviť Wattové váhy ako piestový tlakomer s lineárnou osciláciou piesta s cievkou v magnetickom poli (Nový Zéland) a jouleových váh s dvomi cievkami a uvažovaním ich vzájomnej indukcie (Čína).

Bol prezentovaný progres na Wattových váhach kde sa údaj NPL a NIST priblížil na rozdiel v relatívnej hodnote  $3 \cdot 10^{-7}$ , pričom rozdiel medzi NIST a Avogadro je  $10^{-6}$ .

V projekte Avogadro sa pracuje na realizácii Si etalónov s konštantným izotopickým zložením (Si 28), zistila sa kontaminácia povrchu chrómom v dôsledku technológie výroby gule, pričom meranie priemeru gule je na vyhovujúcej hodnote neistoty.

#### 4. Dôsledky pre národný etalón hmotnosti SR

Z hore uvedeného je jasné, že pri ľubovoľnej definícii kilogramu, prenos z definície na etalóny štátov ktoré nebudú mať realizovanú definíciu kilogramu (čo bude väčšina sveta) sa bude uskutočňovať vážením vo vákuu a udržiavaním materializovaného etalónu vo vákuu – počas váženia, počas transportu, počas celej jeho životnosti. Je preto nevyhnutné zaobstarať takéto váhy a získať skúsenosti s vážením vo vákuu. Kremíkové guľičky sú už dnes komerčne dostupné ( 1 kg kremíková guľa je dostupná v cene cca 12 000 €). Váhy sú takisto komerčne dostupné ( v cene cca 500 000 €), ale SMU má dostatočný technický potenciál na ich realizáciu.

#### Súvisiaca a použitá Literatúra

- (1) Bowmann H.A., Schoonover R.M., Carroll C.L.: A density scale based on solid objects, Jour of res. NBS, vol 78 A, N°1, jan-feb.1974
- (2) Bowman, A., Schoonower, R.: Procedure for High Precision Density Determination by Hydrostatic weighing, Jour. of Res. NBS, No 3, vol. 71C, August 1967
- (3) Saunders J.B., Ball and cylinder interferometer, Journal of research of NBS-C, vol 76c, nos 1-2, January-june 1972
- (4) Johnson D.P., Geometrical considerations in the measurement of the volume of an approximative sphere, Journal of Research of NBS, vol 78A, no 1, January-February 1974
- (5) Quinn, T.J.; Speake, C.C.; Davis, R.S.: A 1 kg Mass Comparator Using Flexure Strip Suspensions: Preliminary Results, Metrologia **23**, (1986/87), pp. 87-100
- (6) Quinn, T.J.; The beam balance as an instrument for very precise weighing, Meas. Sci. Technol. **3** (1992), pp. 141-159
- (7) M. Kochsiek, M. Gläser, : Comprehensive mass metrology, WILLEY-VCH verlag, Berlin, 2000.  
Girard, G. 1994, Third periodic verification of national prototypes of the kilogram (1988-1992), Metrologia **32** 317-36
- (8) Becker, P., De Bievre P, Fuji K, Glaser M, Inglis B, Luebbig H, Manna G. Considerations on the future redefinitions of the kilogram, the mole and other units, Metrologia 44 (2007) 1-14
- (9) Mills I.M., Mohr P.S., Quinn T.J., Taylor B.N., Williams E.R., Redefinition of kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI 2005), Metrologia, 2006, 43, no 3, 227-246
- (10) Becker P., Tracing the definition of kilogram to the Avogadro constant using silicon single crystal, Metrologia 2003, 40, no 6, 366-375
- (11) Davis R. S., Mass metrology and the new SI kilogram, BIPM, CCM 2010, dokument CCM10/03/rev1
- (12) Mohr P.J., Taylor B.N., Newell D.B., CODATA recommended values of the fundamental constants: 2006, J. Phys. Chem. Ref. Data, 2008, 37, 1187-1284
- (13) Mohr P., Defining units in the quantum based SI, metrologia, 2008, 45, no 2, 129-133
- (14) Steiner R., Newell D., Williams E., Detail of the 1998 Watt Balance experiment determining the Planck constant, Journal of research of the NIST, 110, 1-26, (2005)
- (15) Eichenberger A., Geneves G., Gournay P., Determination of the planck constant by means of Watt balance, Eur-phys. J. Special topics 172, 363-383, (2009)
- (16) Kibble B. P., Robinson I. A., Belliss J. H. , A realisation of the SI Watt by the NPL moving-coil balance , metrologia 27, 173-192, (1990)
- (17) Robinson I.A., Kibble B.P., An initial measurements of Plancks constant using NPL Mark II watt balance, Metrologia, 2007, 44, no 6, 427-440
- (18) Becker P, Determination of the Avogadro constant, CCM meeting 2007, paris
- (19) BIPM SI brochure 2010
- (20) Steiner R., Williams E., Newell D., Liu R. Metrologia, 2005, 42, 431