



SLOVENSKÝ METROLOGICKÝ ÚSTAV, BRATISLAVA

správa č. 028/10

**NÁRODNÝ ETALÓN ŽIARENIA GAMA**  
číslo etalónu 028/01

SÚHRNNÁ SPRÁVA PRE REVÍZIU  
NÁRODNÉHO ETALÓNU ŽIARENIA GAMA

Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.

Ing. Norman Durný

Mgr. Jozef Martinkovič

Bratislava, december 2010

**OBSAH**

**SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE ŽIARENIA GAMA**

1	Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE žiarenia gama	3
2	Podrobný popis NE žiarenia gama a s ním spojených zariadení	4
3	Špecifikácia metrologických vlastností národného etalónu žiarenia gama	12
4	Prehľad medzinárodných porovnaní	18
5	Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE žiarenia gama	22
6	Zoznam publikácií o NE žiarenia gama	23
7	Literatúra a zoznam dokumentov súvisiacich s NE žiarenia gama	24
príloha 1	Certifikát NE žiarenia gama, 2001	26
príloha 2	Certifikát NE žiarenia gama, 2004	30
príloha 3	Certifikát NE žiarenia gama, 2010	34

## Názov etalónu : Národný etalón žiarenia gama NE 028/01

Dátum schválenia návrhu na vyhlásenie etalónu pod číslom 028/01 zo dňa 18.12.2001 UNMS SR v Bratislave, certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom, certifikát č. 028/01 z 27.3.2002 v súlade s ustanovením §6 a §32 ods. 2 písm. d) zákona č. 142/2000 Z. z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

**Osoba zodpovedná za národný etalón : Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.**

### 1 Technicko ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE žiarenia gama

Národný etalón žiarenia gama reprezentuje realizáciu dozimetrických veličín ionizujúceho žiarenia, konkrétne kerry fotónov vo vzduchu, absorbovanej dávky vo vode, dávkového ekvivalentu fotónov a ich príkony.

Uvedené veličiny reprezentujú základné dozimetrické veličiny používané pri charakterizácii účinkov pôsobenia ionizujúceho žiarenia, v našom prípade fotónov gama, na hmotné prostredie.

Prvou základnou dozimetrickou veličinou pre oblasť ochrany zdravia, životného prostredia ale aj medicíny v oblasti rádiodiagnostiky je *kerma fotónov gama vo vzduchu*. Od kerry vo vzduchu sa odvídzajú a sú priamo na ňu nadviazané súvisiace veličiny:

- *priestorový dávkový ekvivalent*
- *osobný dávkový ekvivalent*
- *a príkony hore uvedených veličín,*

ktoré sú definované a stanovujú sa v súlade s medzinárodnými odporúčeniami, normami a postupmi [1,2,3,4, 5, 6 a 7].

Druhou základnou dozimetrickou veličinou pre oblasť charakterizácie pôsobenia žiarenia na hmotné prostredie, vrátane živých buniek, organizmov (rádioterapia) ale aj ožarovania za účelom pasterizácie potravín, dezinfekcie a modifikácie látok, je *absorbovaná dávka v danom prostredí*. V oblasti medicíny ale aj priemyselnej aplikácie ionizujúceho žiarenia sa za referenčnú veličinu považuje:

- *absorbovaná dávka fotónov vo vode.*

Metódy a postupy kalibrácie meradiel vo veličine absorbovaná dávka sú spracované v medzinárodných odporúčeníach [8, 9, 10].

Z hľadiska požiadaviek na presnosť merania a neistoty prenosu jednotky sú najvyššie nároky kladené v rádioterapeutickej oblasti. V súlade s medzinárodnými odporúčeniami, by neistota dodanej absorbovanej therapeutickej dávky v danom mieste organizmu nemala presiahnuť 5 %.

V minulosti aj absorbovaná dávka vo vode sa v súlade s medzinárodnou praxou odvodzovala od kerry vo vzduchu. V súčasnosti absorbovaná dávka vo vode je realizovaná ako samostatná primárna veličina, najmä prostredníctvom kalorimetrických meracích metód.

Pri monitorovaní životného prostredia a osôb sa využívajú takzvané operačné veličiny – priestorový a osobný dávkový ekvivalent, ktorých realizácia sa priamo odvádza od kermy vo vzduchu. Ich aplikácia je pri meraniach v rámci monitorovania a kontroly plnenia hygienických požiadaviek v životnom prostredí, na pracoviskách, najmä v jadrovej energetike, zdravotníctve ako i v iných odvetviach hospodárstva, ktoré využívajú ionizujúce žiarenie, zahŕňajú armádu a civilnú obranu.

Ďalšou dôležitou aplikáciou etalónu kermy fotónov vo vzduchu je vykonávanie skúšok typu meradiel určených na povinnú metrologickú kontrolu v súlade so zákonom o metrologii 142:2000 a s vyhláškou 210:2000 v znení novelizácií. Merania vo zväzku zdroja  $^{137}\text{Cs}$  predstavujú určovanie základných referenčných meracích charakteristík dozimetrov v štandardných podmienkach. 661 keV fotóny predstavujú základnú referenčnú kvalitu žiarenia pre oblasť ochrany zdravia a životného prostredia, v ktorej sa vykonávajú štandardné kalibrácie a overovania väčšiny používaných dozimetrov.

Ide hlavne o systémy osobnej dozimetrie, priestorové dozimetre používané pre radiačnú ochranu pracovníkov pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia a monitory žiarenia pri ochrane životného prostredia, ale aj detektory priamo sa podieľajúce na procese riadenia výroby. Dôležitú úlohu zohrávajú i dozimetre a monitory používané v armáde SR a civilnej ochrane štátu. Väčšina takýchto meradiel patrí do regulovanej sféry v kategórii určených meradiel.

Referenčnou kvalitou žiarenia pre lekárske dozimetre používané na stanovenie absorbovanej dávky pacientom počas procesu ožarovania v externých rádioterapeutických zväzkoch pri aplikácii vysokoenergetických je fotónové žiarenie so strednou energiou 1,25 MeV z  $^{60}\text{Co}$ . Pre túto referenčnú kvalitu sú kalibrované ionizačné komory používané na stanovovanie dávok pacientom aj na pracoviskách používajúcich lineárne terapeutické elektrónové urýchľovače, ako aj na pracoviskách s hadrónovou (protónovou). Pri uvedených aplikáciách sú usmrcované rakovinové bunky a je snaha minimálne poškodiť zdravé bunkové tkanivá. To kladie vysoké nároky na metrologické zabezpečenie tejto oblasti.

## 2. Podrobný popis NE žiarenia gama a s ním spojených zariadení.

Definícia veličín a jednotiek

V posledných desaťročiach a rokoch zaznamenali dozimetrové veličiny časté a významné zmeny a preto je potrebné aj pre účely tejto správy uviesť ich základné definície a jednoznačne stanoviť v súlade s akou normou a medzinárodným doporučením stanovuje NE kermy fotónov a ostatné zmieňované veličiny.

Norma STN ISO 31-10 Veličiny a jednotky, 10. Časť: Jadrové reakcie a ionizujúce žiarenie [11] definuje veličiny kermy a dávkový ekvivalent nasledovne:

Kerma  $K$  je v danom bode určený podiel súčtu počiatkových kinetických energií  $dE_k$  všetkých nabitých častíc, uvoľnených nenabitými ionizujúcimi časticami v uvažovanej látke, a hmotnosti  $dm$  tejto látky:

$$(2.1) \quad K = \frac{dE_k}{dm}$$

Kermový príkon  $\dot{K}$  je podiel prírastku kermy  $dK$  v časovom intervale  $dt$  a tohto časového intervalu:

$$(2.2) \quad \dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

V názve veličiny sa uvádza menovite k akej látke sa kerma vzťahuje, napr. kerma vo vzduchu  $K_a$  alebo v tkanive  $K_t$ , prípadne aj v inej významnej látke.

Jednotkou kermy je Gray s označením Gy s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-2}$  a kermového príkonu Gray za sekundu  $Gy \cdot s^{-1}$  s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-3}$ .

Dávka  $D$  je v danom bode určený podiel strednej odovzdanej energie  $d\varepsilon$ , odovzdanej ionizujúcim žiarením látke, a hmotnosti  $dm$  tejto látky:

$$(2.3) \quad D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

V názve veličiny sa uvádza menovite k akej látke sa dávka vzťahuje, napr. dávka vo vzduchu  $D_a$  alebo v tkanive  $D_t$ .

Jednotkou dávky je Gray s označením Gy s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-2}$  a dávkového príkonu Gray za sekundu  $Gy \cdot s^{-1}$  s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-3}$ .

Norma STN 01 1310 Veličiny a jednotky, Ochrana pred ionizujúcim žiarením [12], definuje veličiny nasledovne.

International commission on radiological protection (ICRP) odporučila systém limitných hodnôt, na základe dávkového ekvivalentu v jednotlivých orgánoch a váhového faktoru dávkového ekvivalentu týchto orgánov - efektívny dávkový ekvivalent  $H_E$ . Tento však nie je priamo merateľný a musí byť určený na základe dávkového ekvivalentu v primeranom mieste vhodného fantómu. Ako vhodný fantóm bola vybratá ICRU guľa [3].

Dávkový ekvivalent  $H$  je súčin absorbovanej dávky  $D$  v uvažovanom bode tkaniva, činiteľa kvality  $Q$  v tomto bode a poprípade tiež súčinu ostatných modifikujúcich činiteľov  $N$ :

$$(2.4) \quad H = D \cdot Q \cdot N$$

Činiteľ kvality  $Q$  zohľadňuje vplyv mikroskopického rozdelenia absorbovanej energie na zdravotné poškodenie. Hodnoty činiteľa kvality boli zvolené na základe hodnôt relatívnej biologickej účinnosti tak, aby boli nezávislé na orgáne či tkanive i na druhu uvažovaného biologického účinku. Sú zvolené tak, aby boli hladkou funkciou lineárneho prenosu energie.

*Hodnoty činiteľa kvality sú prevzaté z medzinárodného doporučenia ICRU 57 [2].*

*$N$  súčin modifikujúcich činiteľov sa pre vonkajšie žiarenie berie hodnota 1.*

Dávkový ekvivalent pre fotónové žiarenie je možné pomocou korekčných faktorov uvádzaných v ISO 4037-3 [7] stanoviť priamo z kermy fotónov vo vzduchu

$$(2.5) \quad H = h_k \cdot K_a$$

kde  $h_k$  je korekčný faktor kerma-dávkový ekvivalent (napr. priestorový).

Príkon dávkového ekvivalentu  $\dot{H}$  je podiel prírastku dávkového ekvivalentu  $dH$  v časovom intervale  $dt$  a tohto intervalu:

$$(2.6) \quad \dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Dávkový ekvivalent a veličiny z neho odvodené a s ním spojené sú určené len pre účely ochrany pred žiarením, hlavne k porovnávaniam so stanovenými limitami ochrany pred žiarením.

Jednotkou dávkového ekvivalentu je Sievert s označením Sv s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-2}$  a príkonu dávkového ekvivalentu Sievert za sekundu  $Sv \cdot s^{-1}$  s rozmermi  $m^2 \cdot s^{-3}$ .

Pre vonkajšie zdroje žiarenia ICRU definovala veličiny, ktoré uľahčujú určenie dávkového ekvivalentu, nasledovne.

Veličiny boli určené pre praktické merania pri priestorovom a osobnom monitorovaní. Sú definované na základe dávkového ekvivalentu vo vhodnom bode fantómu. Závajú od typu a energie žiarenia. Pre prenikavé ionizujúce žiarenie, ktorým fotónové žiarenie je, sú to priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$  a osobný dávkový ekvivalent  $H_p(d)$ .

Priestorový dávkový ekvivalent v definovanom bode radiačného poľa, je dávkový ekvivalent, ktorý by mal byť vytvorený v zodpovedajúcom rozšírenom a orientovanom poli, v ICRU sfére v hĺbke  $d$  na polomere oproti smeru orientovaného poľa.

Osobný dávkový ekvivalent je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodnej hĺbke  $d$  pod presne určeným bodom na tele. Pre prenikavé ionizujúce žiarenie je doporučená hĺbka 10 mm pre hĺbkový a 0,07 mm pre povrchový dávkový ekvivalent.

## Technická realizácia etalónu žiarenia gama

Technická realizácia etalónu dozimetrických veličín, teda aj kermy vo vzduchu a absorbovanej dávky pozostáva z dvoch hlavných častí:

a/ etalónového meracieho zariadenia

a

b/ referenčných zväzkov fotónov, ktoré sú nutné na zabezpečenie štandardných podmienok merania.

Etalón žiarenia gama je možné rozdeliť na dva samostatné celky:

a/ *etalón kermy fotónov vo vzduchu* – ktorý má časť primárnu (primárny etalón/vysoké dávkové príkony) a časť sekundárnu (sekundárny etalón/nízke až vysoké dávkové príkony najmä pre oblasť ochrany zdravia a životného prostredia).

b/ *etalón absorbovanej dávky vo vode* – ktorý je sekundárnym etalónom, metrologicky nadviazaným na primárny etalón v PTB.

Predmetom predkladanej správy je dokladovanie súčasného stavu etalónu a zohľadnenie jeho vývoja od vyhlásenia etalónu za NE.

NE je referenčným etalónom Slovenska, ktorý na najvyššej úrovni realizuje, reprodukuje a uchováva hodnotu jednotiek dozimetrických veličín fotónov. Je opakovane porovnávaný s NE iných štátov v rámci porovnávacích projektov najmä EURAMET a COOMET.

## Zostava etalónu

Etalón kermy vo vzduchu (vrátane súvisiacich veličín) a absorbovanej dávky vo vode pozostávajú z nasledovných základných častí:

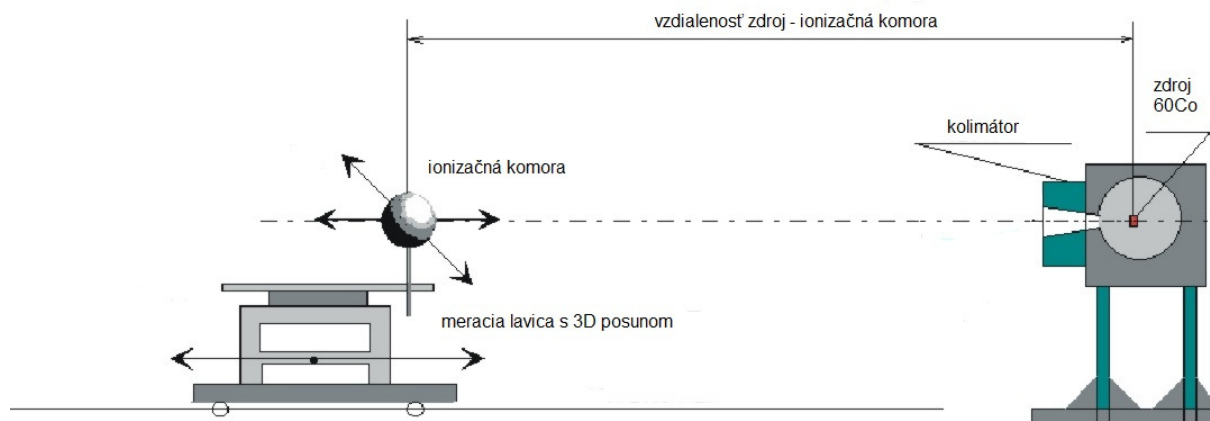
### a) **meracie etalónové zariadenia:**

pozostávajú z detekčnej časti, v našom prípade sú to ionizačné komory a z meracej časti - elektrometra

- primárny etalón kermy vo vzduchu: grafitová valcová dutinová ionizačná komora s elektrometrom.
- sekundárny etalón kermy vo vzduchu: súprava plastových sférických ionizačných komôr s elektrometrom.

b) **referenčné fotónové zväzky:**

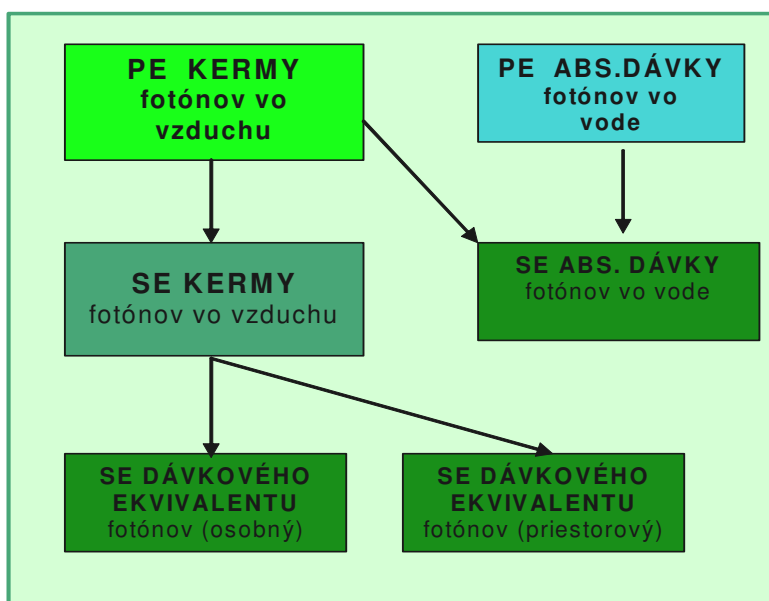
- $^{60}\text{Co}$  pre oblasť terapeutických dávok
- $^{137}\text{Cs}$  pre oblasť ochrany zdravia a životného prostredia



Obr. 1 Schematické znázornenie hlavných častí etalónu kerry fotónov vo vzduchu a ich usporiadania pri meraní

- c) **pomocné časti etalónu:** Pomocné zariadenia tvoria ďalšie nevyhnutné súčasti najmä súvisiacich sekundárnych etalónov. Sú to vodné fantómy pre absorbovanú dávku fotónov vo vode, plastové fantómy z PMMA pre osobný dávkový ekvivalent a všetky potrebné pomocné meradlá - dĺžky, teploty, tlaku, vlhkosti; prípravky na uchytanie detektorov a ostatných zariadení.
- d) **meracia lavica.** Umožňuje reprodukovateľne s dostatočnou presnosťou zabezpečiť nastavenie vzdialenosti zdroj-detektor v osi referenčného zväzku. Zároveň umožňuje merať tvar zväzku v smere kolmom na jeho os.

**Vzájomné previazanie etalónov dozimetrických veličín fotónov**



Obr. č. 3 Schématické znázornenie vzájomného prepojenia etalónov dozimetrických veličín fotónov

Sekundárny etalón kerry fotónov vo vzduchu rozširuje primárny etalón o rozsahy s nízkym dávkovým príkonom až po úroveň prirodzeného pozadia pre zdroje  $^{137}\text{Cs}$ . Etalón je priamo nadviazaný na PE, alebo na zodpovedajúci PE v zahraničí.

Priestorový a osobný dávkový ekvivalent vychádzajú priamo z etalónu kerry vo vzduchu. Na ich realizáciu sa využívajú referenčné zväzky fotónov a veličiny sú prepočítavané v súlade s STN ISO 4037-3.

### 1. Primárny etalón kerry fotónov vo vzduchu a jeho príkonu:

Príkon kerry fotónov vo vzduchu  $\dot{K}_a$  meraný pomocou vzduchovej ionizačnej komory je definovaný vzt'ahom:

$$\dot{K}_a = \frac{I}{m} \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{1}{1 - \bar{g}} \cdot \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{a,c} \cdot \bar{s}_{c,a} \cdot \prod_i k_i,$$

kde

$I/m$  je ionizačný prúd na jednotku hmotnosti vzduchu v ionizačnej komore, meraný etalónom,

$m$  hmotnosť vzduchu v ionizačnej komore,

$W$  stredná energia elektrónu s nábojom  $e$  potrebná na vytvorenie páru iónov v suchom vzduchu,

$\bar{g}$  časť energie sekundárnych elektrónov uvoľnenej brzdným žiarením,

$\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{a,c}$  pomer stredného koeficientu absorpcie energie vo vzduchu a v grafitu,

$\bar{s}_{c,a}$  hodnota pomeru stredných brzdných strát materiálu steny (grafitu) a vzduchu,

$\prod k_i$  súčin korekčných faktorov aplikovaných na etalón.

Meradlá ovplyvňujúcich veličín sú nadviazané na príslušné etalóny SMU.

Primárny etalón príkonu kerry fotónov vo vzduchu je realizovaný prostredníctvom primárnej dutinovej grafitovej valcovej ionizačnej komore ND 1005/A v.č. 8111.

Technické parametre ionizačnej komory, etalónu kerry vo vzduchu:

Typ ionizačnej komory	ND 1005/A v.č. 8111	
		Nominálna hodnota
komora	Vonkajšia výška [mm]	19
	Vonkajší priemer [mm]	19
	Vnútoraná výška / mm	11
	Vnútoraný priemer [mm]	11
	Hrúbka steny [mm]	4
elektroda	priemer [mm]	2
	výška [mm]	10
objem	vzduchá komora [cm <sup>3</sup> ]	1,0185
	relatívna neistota [cm <sup>3</sup> ]	0,0019
stena	materiál	ultra čistý grafit
	hustota [g·cm <sup>-3</sup> ]	1,71
	podiel nečistôt	< 1,5 × 10 <sup>-4</sup>
pracovné napätie	volty [ V ]	300



Fyzikálne konštanty a korekčné faktory s odhadmi ich relatívnych neistôt na stanovenie kermy vo vzduchu v žiarení  $^{60}\text{Co}$ .

	hodnoty SMU	relatívne <sup>(1)</sup> neistoty [%]	
		$u_A$	$u_B$
<b>Fyzikálne konštanty</b>			
$\rho$ merná hustota suchého vzduchu [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ] pre referenčné podmienky	1,2048	-	0,01
$(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{a,c}}$	0,9985	-	0,05
$\bar{s}_{\text{e,a}}$ pomer brzdných strát	1,001 0	-	0,11
$W/e$ [ $\text{J}\cdot\text{C}^{-1}$ ]	33,97		
$\bar{g}$ časť energetických strát vo forme brzdného žiarenia	0,003 2	-	0,02
<b>korekčné faktory</b>			
$k_s$ nekombinačné straty	1,001 7	0,01	0,03
$k_h$ vlhkosť	0,997 0	-	0,03
$k_{\text{st}}$ rozptyl na stopke	0,999 7	0,01	-
$k_{\text{wall}}$ stenové efekty	1,0191	0,03	0,08
$k_{\text{an}}$ axiálna neuniformita	0,9998	-	0,01
$k_{\text{r}}$ radiálna neuniformita	1,0003	-	0,01
$k_{\text{pol}}$ polarita	0,9989		0,08
<b>Meranie <math>I/v\rho</math></b>			
$v$ objem [ $\text{cm}^3$ ]	1,0185	0,19	0,10
$I$ ionizačný prúd		0,02	0,05
Vzdialenosť			0,02
Dlhodobá stability			0,11
<b><math>N_k</math> [Gy/C] kalibračný faktor</b>	<b>2,8215+E07</b>		
<b>Neistota</b>			
Quadratický súčet		0,19	0,23
<b>Kombinovaná neistota</b>		<b>0,30</b>	

<sup>(1)</sup> Vyjadrené ako jedna štandardná odchýlka

2. Sekundárny etalón pre stredné a nízke príkony kermy je nadviazaný na primárny etalón kermy fotónov vo vzduchu SMU a medzinárodné etalóny.
3. Sekundárny etalón absorbovanej dávky vo vode je nadviazaný na medzinárodné etalóny.
4. Stupnice veličín príkonu priestorového dávkového ekvivalentu, príkonu osobného dávkového ekvivalentu a príkonu absorbovanej dávky vo vode sú odvodené a sú nadviazané na stupnicu príkonu kermy fotónov vo vzduchu.

## Zostava etalónu:

### 1. Súprava etalónových ionizačných komôr:

Typ	Výrobné číslo	Objem [cm <sup>3</sup> ]	$N_{Ka} (^{137}\text{Cs})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	$N_{Ka} (^{60}\text{Co})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
ND 1005/A	8111	1	$2,840 \cdot 10^7 \pm 1,0 \%$	$2,8215 \cdot 10^7 \pm 0,6 \%$	OMH Maďarsko
ND1000	8115	$1 \cdot 10^3$	$2,272 \cdot 10^4 \pm 1,5 \%$	$2,262 \cdot 10^4 \pm 1,5 \%$	OMH Maďarsko
ND 1007	8906	$1 \cdot 10^4$	$2,980 \cdot 10^3 \pm 1,8 \%$	$2,961 \cdot 10^3 \pm 1,8 \%$	OMH Maďarsko
LND 5120	71188	$8 \cdot 10^3$	$88,11 \pm 2,7 \%$	$87,93 \pm 2,7 \%$	LND INC., USA
TW 23361	551	30	$9,360 \cdot 10^5 \pm 1,4 \%$	$9,293 \cdot 10^5 \pm 1,4 \%$	PTW Freiburg, Nemecko

Typ	Výrobné číslo	Objem [cm <sup>3</sup> ]	$N_{Dw} (^{60}\text{Co})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
TW 30013	1452	0,6	$5,38 \cdot 10^7 \pm 1,9 \%$	PTW Freiburg, Nemecko

$N_{Ka}$  a  $N_{Dw}$  je kalibračný faktor ionizačnej komory platný pre referenčné podmienky pri teplote 20°C a pri atmosférickom tlaku 101,325 kPa. Udávané neistoty kalibračného faktora sú relatívne rozšírené neistoty s koeficientom pokrytia  $k=2$ . Hodnoty  $N_{Ka}$  a  $N_{Dw}$  sú orientačné, platné v čase kalibrácie.

### 2. Etalónové meradlá ionizačného náboja / prúdu :

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A, v. č. 0760221, výrobca KEITHLEY USA,  
Elektrometer KEITHLEY typ 6517B, v. č. 1239965, výrobca KEITHLEY USA.  
Elektrometer UNIDOS typ T 10002, v. č. 20599, výrobca PTW Nemecko.

### 3. Pomocné meradlá a zariadenia:

meradlo ovplyvňujúcich veličín: teplota, tlak, vlhkosť, typ Almemo 2290-4, v.č. H02010182M, v.č. H02020269M, v.č. H02020271M, výrobca Ahlborn, SRN,  
dutinomer-odpich typ 1500, v. č. 626, výrobca Zeiss, NDR,  
vodný fantóm rádioterapeutický PTW Nemecko,  
PMMA fantóm SMU/PF/1 v. č. 94/1, SMU Bratislava.

## B. Referenčné vzásky fotónov

### 4. Kalibračný gama ožarovač, model IM4 / P, výr. č. 630/1997, výrobca: TEMA Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM4/2	<sup>137</sup> Cs	R6060	0935 GP	$8,14 \cdot 10^{13}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/3	<sup>137</sup> Cs	R6030	0840 GP	$8,90 \cdot 10^{12}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/1	<sup>137</sup> Cs	VZ-476/3	FV 516	$5,55 \cdot 10^{11}$	15.01.98	Amersham, USA

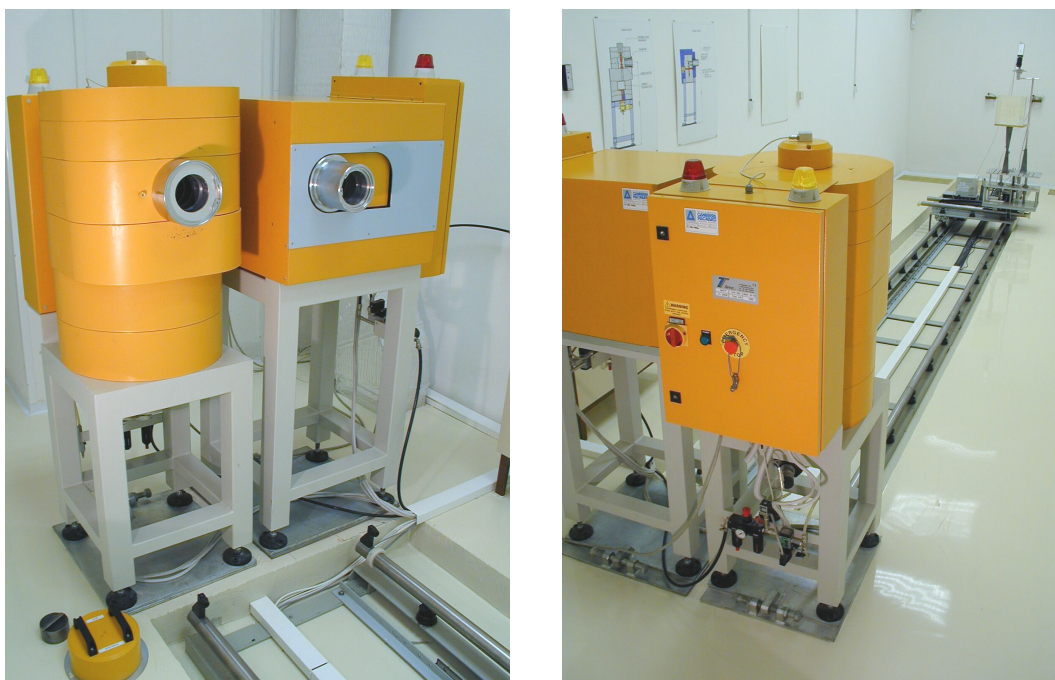
### 5. Kalibračný gama ožarovač, model IM6 / M, výr. č. 631/1997, výrobca: Tema Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM6/3	<sup>137</sup> Cs	V-1726	FU 998	$3,70 \cdot 10^{10}$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/5	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 997	$1,85 \cdot 10^9$	18.12.97	Amersham, USA
IM6/2	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 996	$1,85 \cdot 10^8$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/1	<sup>137</sup> Cs	VZ130/2	FU 995	$1,85 \cdot 10^7$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/4	<sup>60</sup> Co	VZ260/2	FU999	$1,85 \cdot 10^9$	10.12.97	Amersham, USA

6. Kalibračný gama ožarovač Chisobalt B 75, výr.č. 70121180123321  
výrobca: Chirana Modřany, ČSSR  
obsahujúci rádionuklidový zdroj fotónov gama:

Pozícia	Rádio-nuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
Chisobalt	<sup>60</sup> Co	GIK 9-4	136	2,75·10 <sup>14</sup>	30.09.97	RIAR Rusko

7. Meracia lavica Cs, typ L-8200, výr.č. 8200Cs, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR,  
8. Meracia lavica Co, typ L-8200, výr.č. 8200Co, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR.



Obr. č. 2 Ožarovacie zariadenia pre SE kerry fotónov vo vzduchu a dávkové ekvivalenty fotónov

Meranie osobného dávkového ekvivalentu sa uskutočňuje s PMMA fantómom.

Pri meraniach ionizačného prúdu v ionizačných komorách sa vždy uplatňuje korekčný faktor  $k_{T,p}$  na teplotu a tlak. Korekčný faktor teploty a tlaku vyjadruje vplyv zmien ovplyvňujúcich stavových veličín na výslednú hodnotu nameraného prúdu. Výsledok merania sa tak prepočítava na štandardné referenčné podmienky.

$$k_{T,p} = \frac{273,15 + T}{273,15 + T_0} \frac{p_0}{p}$$

kde: T je teplota pri konkrétnom meraní v stupňoch Celzia  
T<sub>0</sub> je referenčná teplota v stupňoch Celzia (T<sub>0</sub> = 20°C)  
p je tlak pri konkrétnom meraní v Pascaloch  
p<sub>0</sub> je referenčný tlak v pascaloch ( je to normálny atmosferický tlak 101.325 kPa).

Pri vlastnom meraní sa IK sa umiestni do stojanov na vozík meracej lavice tak, aby jej efektívny stred bol v rovnakej výške ako os zväzku. Priečnym pohybom vozíka sa nastaví poloha referenčnej komory pomocou laserového lúča do osi zväzku.

Kolimátory zabezpečujú požadovanú šírku zväzku v mieste merania, tak aby celá IK ležala v homogénnej časti zväzku a zároveň aby bol zväzok čo najužší, čím sa minimalizuje vplyv rozptýlených častíc od podlahy a stien ožarovne.

Postup a vyhodnotenie merania je spracovaný v pracovnom postupe PP 05/250 predstavuje ucelenú metodiku merania príkonu kerry fotónov vo vzduchu v referenčných bodoch kolimovaných fotónových zväzkov v laboratóriu SMÚ pomocou ionizačných komôr a elektrometra.

### 3. Špecifikácia metrologických vlastností NE žiarenia gama

a) etalón kerry fotónov vo vzduchu – terapeutické príkony

veľičina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	<sup>60</sup> Co	(1·10 <sup>-3</sup> ÷ 1,4·10 <sup>-2</sup> ) Gy·s <sup>-1</sup>	0,45

b) etalón kerry fotónov vo vzduchu - stredné a nízke príkony

veľičina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	<sup>137</sup> Cs	(2·10 <sup>-4</sup> ÷ 5) Gy·h <sup>-1</sup>	1,0
			(5·10 <sup>-7</sup> ÷ 2·10 <sup>-4</sup> ) Gy·h <sup>-1</sup>	1,5
			(3·10 <sup>-8</sup> ÷ 5·10 <sup>-7</sup> ) Gy·h <sup>-1</sup>	3,5
		<sup>60</sup> Co	(1·10 <sup>-5</sup> ÷ 5·10 <sup>-4</sup> ) Gy·h <sup>-1</sup>	1,2

c) etalón priestorového dávkového ekvivalentu

veľičina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon priestorového dávkového ekvivalentu	$\dot{H}^*(10)$	<sup>137</sup> Cs	(2·10 <sup>-4</sup> ÷ 5) Sv·h <sup>-1</sup>	1,3
			(5·10 <sup>-7</sup> ÷ 2·10 <sup>-4</sup> ) Sv·h <sup>-1</sup>	1,8
			(3·10 <sup>-8</sup> ÷ 5·10 <sup>-7</sup> ) Sv·h <sup>-1</sup>	3,6
		<sup>60</sup> Co	(1·10 <sup>-5</sup> ÷ 5·10 <sup>-4</sup> ) Sv·h <sup>-1</sup>	1,5

d) etalón osobného dávkového ekvivalentu

veľičina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon osobného dávkového ekvivalentu	$\dot{H}_p^*(10)$	<sup>137</sup> Cs	(2·10 <sup>-4</sup> ÷ 1) Sv·h <sup>-1</sup>	1,5
			(1·10 <sup>-7</sup> ÷ 2·10 <sup>-4</sup> ) Sv·h <sup>-1</sup>	2,0
		<sup>60</sup> Co	(1·10 <sup>-5</sup> ÷ 1·10 <sup>-4</sup> ) Sv·h <sup>-1</sup>	1,7

e) etalón absorbovanej dávky fotónov vo vode – terapeutické príkony

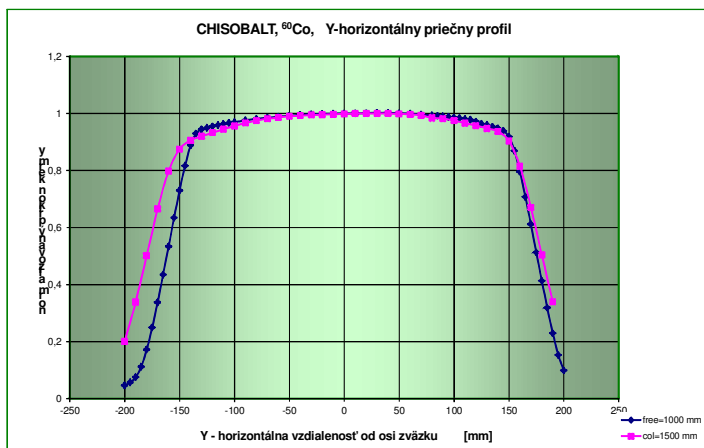
veľičina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon absorbovanej dávky vo vode	$\dot{D}_w$	<sup>60</sup> Co	(5·10 <sup>-3</sup> ÷ 1,4·10 <sup>-2</sup> ) Gy·s <sup>-1</sup>	1,0

Poznámka: u<sub>c</sub> [%] je relatívna kombinovaná štandardná neistota .

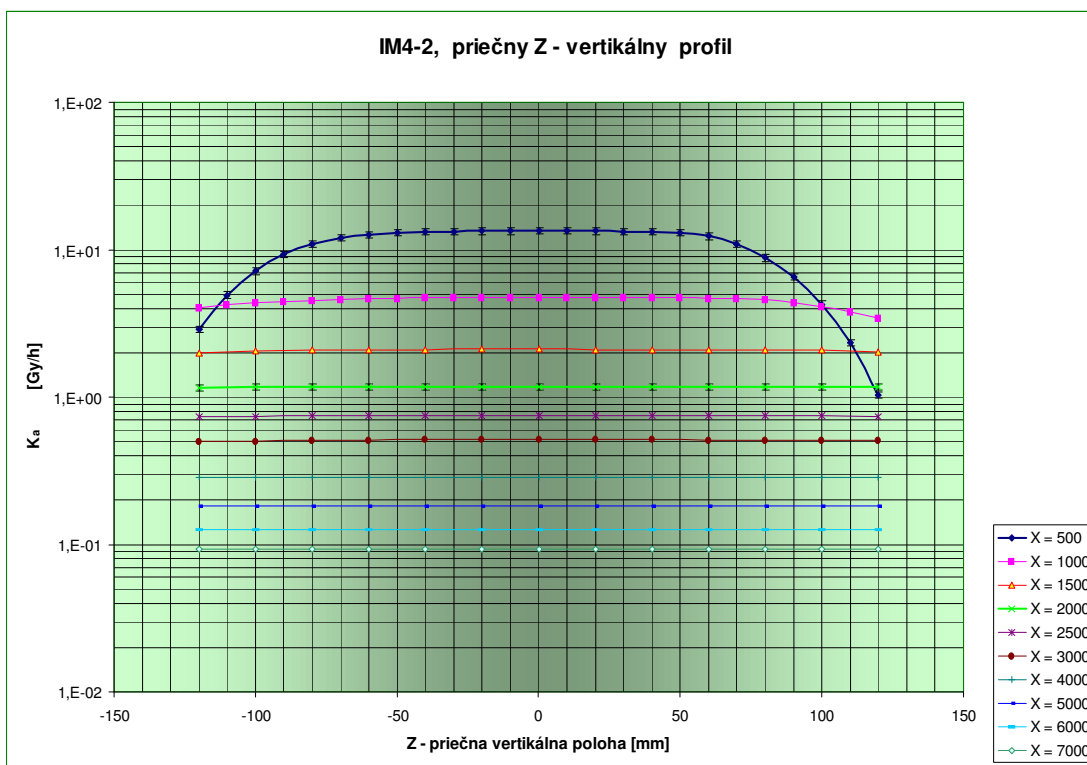
Rozsah merania príkonu kerry vo vzduchu je limitovaný rozsahom dávkových príkonov referenčných zväzkov a úrovňou pozadia. Na zabezpečenie celého rozsahu dávkových príkonov slúži súprava ionizačných komôr s rôznym aktívnym objemom, teda aj citlivosťou, vybraná tak, aby bol pokrytý celý merací rozsah etalónu.

#### PARAMETRE REFERENČNÝCH ZVÄZKOV FOTÓNOV

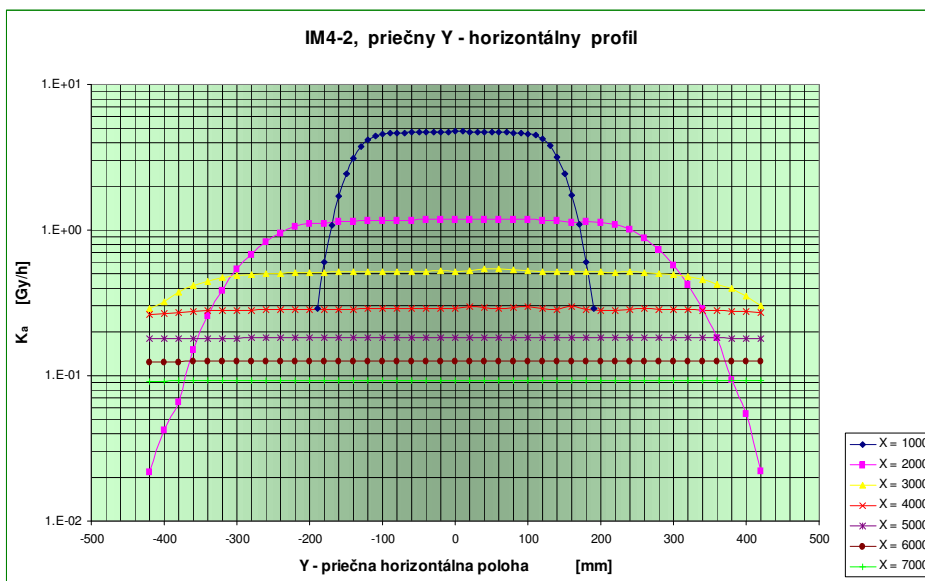
Okrem rozsahu pokrytia kermových príkonov a príkonov ostatných dozimetrických veličín fotónov sú zväzky charakterizované priečnym profilom. Ďalej na obr. č. 3 až 8 sú uvedené zmerané priečne profily v horizontálnom a vertikálnom smere kolmo na os zväzku. Pre terapeutický zväzok je potrebné definovať rozmer a tvar zväzku v mieste referenčného bodu.



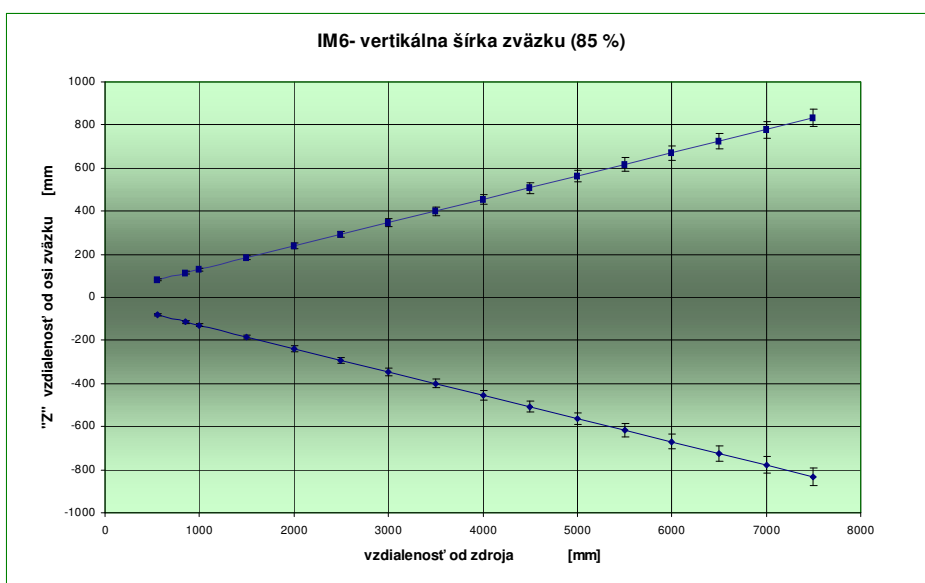
Obr. č. 3 Profil zväzku  $^{60}\text{Co}$  v referenčných bodoch pre kolimovaný zväzok a otvorenú primárnu clonu bez kolimátora



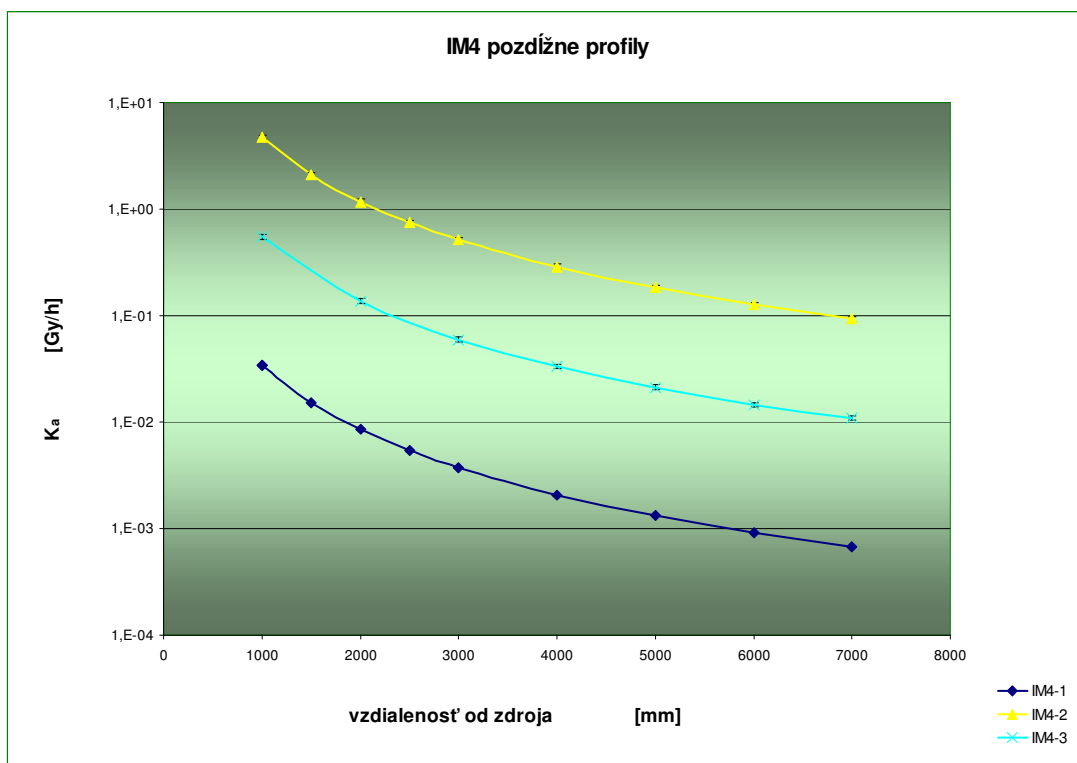
Obr. č. 4 Ožarovač IM4 vertikálny profil zväzku v rôznych referenčných vzdialenostiach zdroj detektor



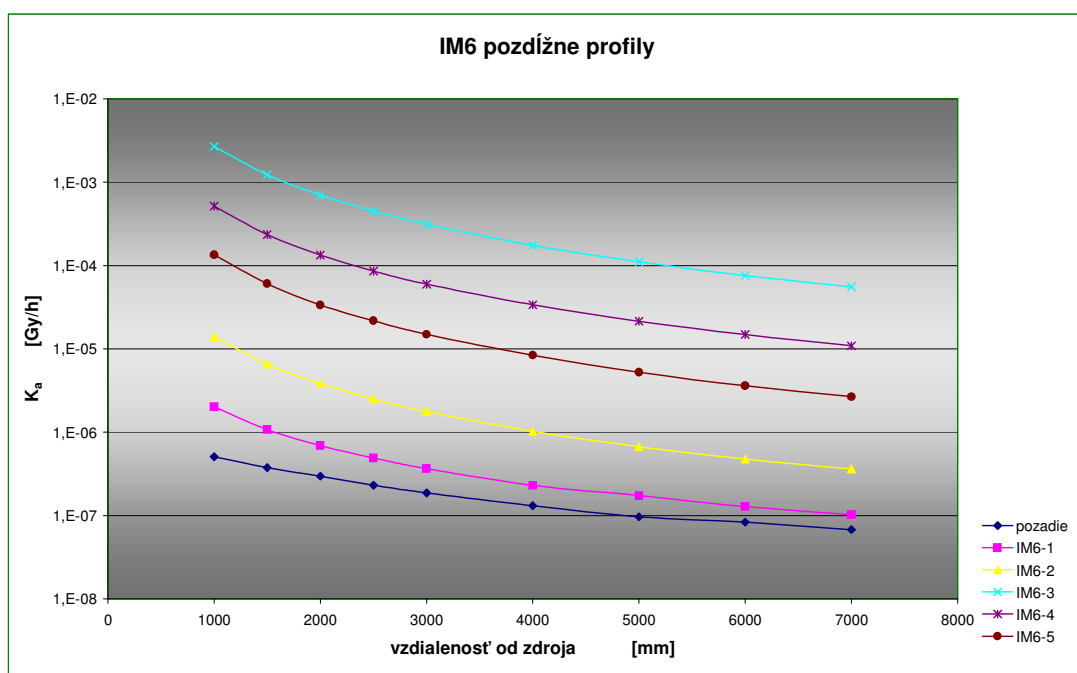
Obr. č. 5 Ožarovač IM4 horizontálny profil zväzku v referenčných vzdialenostiach pre zdroj č. 2



Obr.č. 6 Iradiátor IM6 vertikálny rozmer zväzku v závislosti od vzdialenosti zdroj detektor



Obr.č.7 Pozdĺžny profil zväzkov žiarenia v ožarovači IM4



Obr. č. 8 Pozdĺžny profil zväzkov žiarenia v ožarovači IM6

### Absorbovaná dávka vo vode, bilancia neistôt - sekundárny etalón $D_w$

veličina	hodnota	neistota	rozdele- nie prav- depo- dobnosti	deliteľ	$u_i$
					[%]
Stredný ionizačný prúd sekundárneho etalónu, $M_s$	100,816	0,009	normálne	1,000	0,009
Stredná hodnota pozadia, $M_B$	0,007	0,001	normálne	1,000	0,001
Kalibračný certifikát sekundárneho etalónu TW 30013 v. č. 1452 [Gy/C]	5.38E+07	1,9%	normálne	2,000	0,950
Dlhodobá stabilita ionizačnej komory		0,1%	normálne	1,000	0,100
Faktor elektrometra	1,00016	0,00001	pravo- uhlé	1,732	0,001
Stabilita elektrometra		0,05%	normálne	1,000	0,050
Rekombinácia – kalibrovanej komory	1,000	0,05%	normálne	1,000	0,050
Polaritný efekt		0,1%	normálne	1,000	0,100
Vzdialenosť zdroj – detektor [mm]	1000	0,35	pravo- uhlé	1,732	0,040
5 g/cm <sup>2</sup> vo vode	5,000	0,02	pravo- uhlé	1,732	0,462
Tlak vzduchu	100,625	0,1	pravo- uhlé	1,732	0,057
Meraná teplota	19,244	0,2	pravo- uhlé	1,732	0,040
Skutočná teplota vo vnútri komory	19,244	0,1	pravo- uhlé	1,732	0,020
Vlhkosť vzduchu		0,05%	pravo- uhlé	1,732	0,029
Neuniformita referenčného poľa		0,05%	normálne	1,000	0,050
<b><math>u_c</math> relatívna kombinovaná neistota [%]</b>					<b>1,1</b>
<b>U Rozšírená štandardná neistota (k=2)</b>					<b>2,2</b>

**Ionizačná komora TW 30013 v.č.n.1452  
nadviazaná na primárny etalón PTB**



## Bilancia neistôt kalibračného faktora $N_{Dw}$

veľičina	hodnota	neistota	rozdelenie pravdepodobnosti	deliteľ	$u_i$
Príkion absorbovanej dávky vo vode, sekundárny etalón [mGy/s]	5,4302	1,1%	normálne	1,000	1,100
Stredný ionizačný prúd kalibrovanej komory, M [pA]	111,11	0,01	normálne	1,000	0,009
Stredná hodnota pozadia, $M_B$ [pA]	0,007	0,005	normálne	1,000	0,005
Rekombinácia – kalibrovanej komory		0,10%	pravouhlé	1,732	0,058
Polaritný efekt – kalibrovanej komory		0,10%	normálne	1,000	0,100
Stabilita elektrometra		0,10%	pravouhlé	1,732	0,058
Tlak vzduchu [kPa]	100,63	0,1	pravouhlé	1,732	0,057
Meraná teplota [°C]	19,244	0,2	pravouhlé	1,732	0,040
Skutočná teplota vo vnútri komory [°C]	19,244	0,1	pravouhlé	1,732	0,020
Vlhkosť vzduchu		0,05%	pravouhlé	1,732	0,029
Vzdialenosť zdroj – detektor [mm]	1000	0,4	pravouhlé	1,732	0,046
5 g/cm <sup>2</sup> vo vode	5	0,02	pravouhlé	1,732	0,462
Zmena príkonu absorbovanej dávky v priebehu dňa		0,04%	pravouhlé	1,732	0,023
Neuniformita referenčného poľa		0,05%	normálne	1,000	0,050
<b><math>u_c</math> relatívna kombinovaná neistota [%]</b>					<b>1,2</b>
<b>U Rozšírená štandardná neistota (k=2)</b>					<b>2,4</b>

## Bilancia neistôt kalibračného faktora $N_k$

veľičina	hodnota	neistota	rozdelenie pravdepodobnosti	deliteľ	$u_i$
					[%]
Príkion kermy vo vzduchu, primárny etalón [Gy/s]	5,55E-03	0,30%	normálne	1,000	0,300
Stredný ionizačný prúd kalibrovanej komory, M [pA]	111,106	0,009	normálne	1,000	0,008
Stredná hodnota pozadia, $M_B$ [pA]	0,007	0,001	normálne	1,000	0,001
Rekombinácia – kalibrovanej komory		0,10%	pravouhlé	1,732	0,058
Polaritný efekt – kalibrovanej komory		0,10%	normálne	1,000	0,080
Stabilita elektrometra		0,10%	pravouhlé	1,732	0,058
Tlak vzduchu [kPa]	100,625	0,1	pravouhlé	1,732	0,057
Meraná teplota [°C]	20,18	0,2	pravouhlé	1,732	0,039
Skutočná teplota vo vnútri komory [°C]	20,18	0,3	pravouhlé	1,732	0,059
Vlhkosť vzduchu		0,05%	pravouhlé	1,732	0,029
Vzdialenosť zdroj – detektor [mm]	1000	0,3	pravouhlé	1,732	0,035
Zmena príkonu kermy v priebehu dňa		0,04%	pravouhlé	1,732	0,023
Neuniformita referenčného poľa		0,05%	normálne	1,000	0,050
<b><math>u_c</math> relatívna kombinovaná neistota [%]</b>					<b>0,35</b>
<b>U Rozšírená štandardná neistota (k=2)</b>					<b>0,70</b>

## DLHODOBÁ STABILITA ETALÓNU

Stabilita etalónu je primárne daná stabilitou vlastností ionizačnej, ďalej stabilitou meracej charakteristiky elektrometra ako aj celého systému merania ionizačného prúdu, vrátane meradiel ovplyvňujúcich veličín, najmä atmosférického tlaku a teploty vzduchu vo vnútri komory.

Stabilita celého meracieho reťazca, od ionizačnej komory až o výsledný zmeraný prúd je kontrolovaná meraním v referenčnom  $^{60}\text{Co}$ , resp.  $^{137}\text{Cs}$  fotónovom poli.

Ohľadom na vek rádioaktívnych zdrojov, používaných na tvorbu referenčných polí môžeme uvažovať o dostatočne čistých rádionuklidoch a predpokladať, že vplyv krátko žijúcich prímiesnych rádionuklidov je zanedbateľný.

Dlhodobá stabilita etalónu nie je horšia ako 0,3 %.

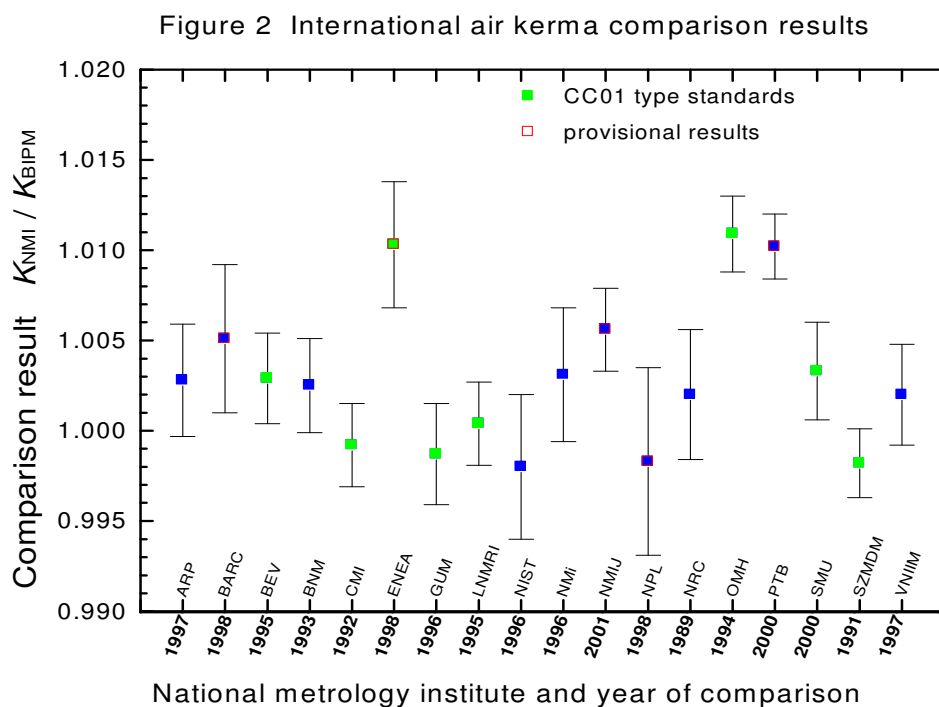
Stabilita etalónu je potvrdená aj medzilaboratórnymi porovnávacími meraniami.

## 4. Medzilaboratórne porovnávacie merania

Názov	veľičina / oblasť porovnania	plánovaný termín začatia /ukončenia
<b>Bilaterálne ČSMÚ - ÚDZ ČSAV</b>	Porovnanie etalónov kerry vo vzduchu pre fotóny $^{60}\text{Co}$	1989
<b>Bilaterálne SMÚ-ODZ ÚJF AV</b>	Porovnanie etalónov kerry vo vzduchu pre fotóny $^{60}\text{Co}$	1997
<b>DUNAMET D-19</b>	Porovnanie etalónov kerry vo vzduchu pre fotóny $^{60}\text{Co}$	1998
<b>BIPB.RI(I)-K1</b>	Kľúčové porovnanie s BIPM etalonov kerry vo vzduchu pre fotóny $^{60}\text{Co}$	2000 – 2002
<b>EA IR3</b>	Kalibrácia dozimetrov určených na ochranu pred žiarením	2000 – 2003
<b>EA IR4</b>	Kalibrácia osobných dozimetrov v osobnom dávkovom ekvivalente $H_p(10)$	2000 – 2003
<b>EUROMET No. 1132</b>	Porovnanie kerry vo vzduchu pre $^{137}\text{-Cs}$	2010-2011
<b>EURAMET No. 813 (EUROMET.RI(I)-K1 EUROMET.RI(I)-K4)</b>	Porovnávacie meranie kerry vo vzduchu a absorbovanej dávky vo vode pre $\text{Co-60}$ v rádioterapii	2005-2009
<b>COOMET 318, COOMET.RI(I)-K1</b>	Regionálne kľúčové porovnanie kerry vo vzduchu pre $^{60}\text{Co}$	2005-2006
<b>Bilaterálne SMU – CMI – VMC (Litva) – IAE(Litva) – MIRS/S.I.(Slovinsko)</b>	Porovnanie veličín pre radiačnú ochranu, $H^*(10)$ a $H_p(10)$	2007
<b>EUROMET No. 1132</b>	Porovnanie kerry vo vzduchu pre $^{137}\text{-Cs}$	2010 - 2012

Ďalej sú uvedené niektoré výsledky z najvýznamnejších porovnávacích meraní.

BIPB.RI(I)-K1:



:

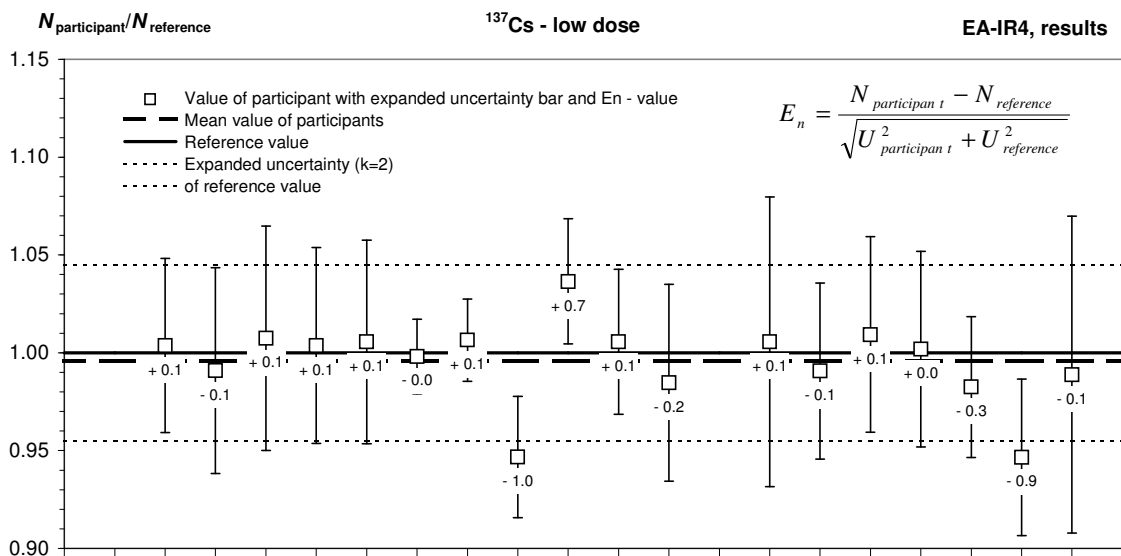
### Výsledky SMU-BIPM porovnania etalónov kermu vo vzduchu

$\dot{K}_{SMU}^{(1)} / \text{mGy}\cdot\text{s}^{-1}$	$\dot{K}_{BIPM}^{(1)} / \text{mGy}\cdot\text{s}^{-1}$	$R_K$	$u_c$
3.123 94	3.113 54	1.0033	0.0025

<sup>(1)</sup>The  $\dot{K}$  values refer to an evacuated path length between source and standard and are given at the reference date of 2000-01-01, 0h UT where the half life of  $^{60}\text{Co}$  is taken as 1 925.5 days ( $u = 0.5$  days) [5].

SMU etalon pre kermu vo vzduchu v  $^{60}\text{Co}$  gama žiarení je v zhode (0.33 %) s BIPM etalónom kermu vo vzduchu a s ostatnými národnými etalónmi.

# EA ILC IR4:

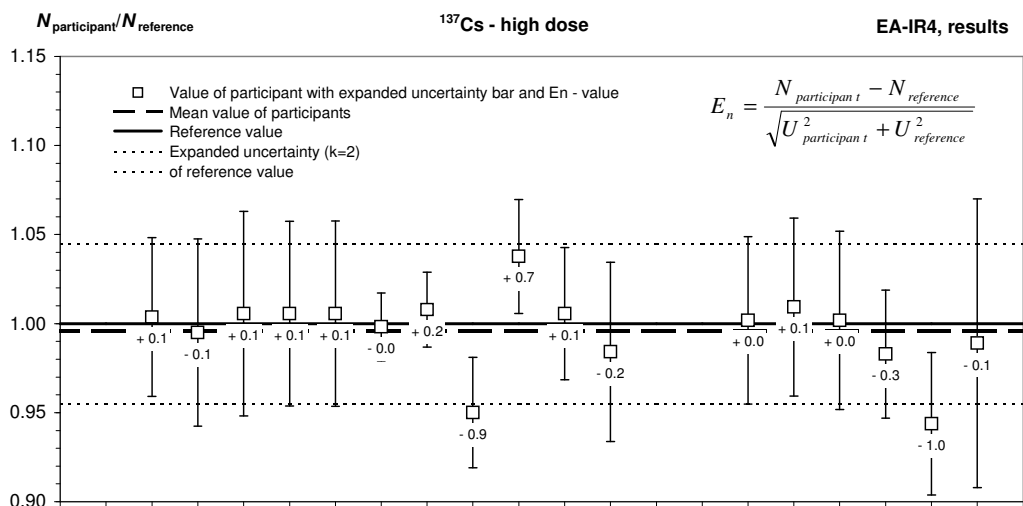


Laboratory	REF	AT	DE1	DE2	ES	FI	FR1	FR2	GB1	GB2	GR	IT1	IT2	NO	PT	SE	SI	SK	US	ZA	
Accreditation	n.a.	yes	no	no	yes	no	yes	yes	yes	yes	no	yes	-	no	no	yes	no	no	yes	yes	
Phantom	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	PMMA	1) PMMA	ISO	-	2) PMMA	ISO	ISO	PMMA	PMMA	PMMA	PMMA	ISO	
$h_{pK(10)}$	Sv*Gy <sup>-1</sup>	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.12	1.21	1.21	-	1.22	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	
$N_{Hp(10)}$	μSv*nC <sup>-1</sup>	53.7	53.9	53.2	54.1	53.9	54	53.6	54.1	50.8	55.7	54	52.9	-	54	53.2	54.2	53.8	52.8	50.8	53.1
exp. uncert. (k=2)	%	4.5	4.5	5.3	5.7	5.0	5.2	1.9	2.1	3.1	3.2	3.7	5.0	-	7.4	2.4 <sup>3)</sup>	5.0	5.0	3.6	4.0	8.1
Irrad.dist.	m	2.0	3.0	2.0	1.4	2.5	4.0	4.5	4.8	4.0	2.5	2.0	2.0	-	2.0	4.0	2.0	2.0	4.0	2.4	1.5
Field diam.	cm	52	78	70	49	50	40	43	43	60	33	56.6	50	-	16	41 <sup>4)</sup>	56	60	75	42	39.5
Dose	mSv	2.00	1.9	2.41	1.50	1.37	2.0	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5	1.6	-	0.026	1.52	2.00	1.06	2.0	1.77	1.20
Doserate	mSv*h <sup>-1</sup>	63.0	28.0	64.4	380	10.2	56.9	6.00	5.11	27.9	35.5	13.9	8.19	-	1.53	30.4	17.2	2.66	37.2	10.6	14.4

1) Instrument irradiated "free in air" mounted on polystyrene board  
 2) Water phantom 30 cm x 30 cm x 30 cm with PMMA walls

3) Corrected to 4.5 % by the laboratory, see chapter "corrective actions"  
 4) Refers to radius, diameter = 82 cm

## EA ILC IR4 Výsledky porovnania pre $N_{Hp(10)}$ - <sup>137</sup>Cs nízke príkony



Laboratory	REF	AT	DE1	DE2	ES	FI	FR1	FR2	GB1	GB2	GR	IT1	IT2	NO	PT	SE	SI	SK	US	ZA	
Accreditation	n.a.	yes	no	no	yes	no	yes	yes	yes	yes	no	yes	-	no	yes	no	no	yes	yes	yes	
Phantom	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	ISO	PMMA	1) PMMA	ISO	-	-	PMMA	ISO	ISO	PMMA	ISO	ISO	ISO	
$h_{pK(10)}$	Sv*Gy <sup>-1</sup>	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.12	1.21	1.21	-	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	
$N_{Hp(10)}$	μSv*nC <sup>-1</sup>	53.7	53.9	53.4	54	54	53.6	54.1	51	55.7	54	52.9	-	-	53.8	54.2	53.8	52.8	50.7	53.1	
exp. uncert. (k=2)	%	4.5	4.5	5.3	5.7	5.2	1.9	2.1	3.1	3.2	3.7	5.0	-	-	2.5 <sup>3)</sup>	5.0	5.0	3.6	4.0	8.1	
Irrad.dist.	m	2.0	2.0	2.0	1.4	2.0	4.0	4.5	4.8	4.0	2.5	2.0	2.0	-	2.0	2.0	1.5	4.0	3.2	1.5	
Field diam.	cm	52	52	70	49	40	40	43	43	60	33	56.6	50	-	21 <sup>4)</sup>	56	45	75	55	39.5	
Dose	mSv	10.0	8.5	12.1	9.0	8.0	10.0	9.0	9.0	8.0	9.0	9.1	-	-	8.3	8.0	8.6	10.1	14.2	8.4	
Doserate	mSv*h <sup>-1</sup>	63.0	63.5	64.4	380	16.1	56.9	6.00	5.11	27.9	87.6	13.9	8.19	-	-	124	17.2	4.75	327	850	14.4

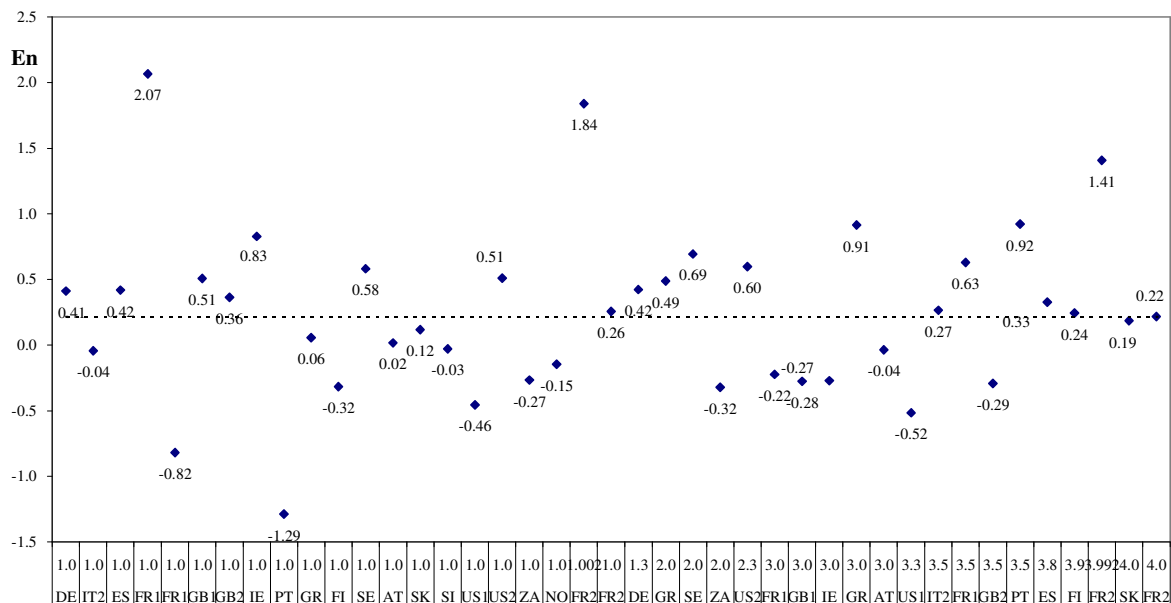
1) Instrument irradiated "free in air" mounted on polystyrene board

3) Corrected to 4.7 % by the laboratory, see chapter "corrective actions"

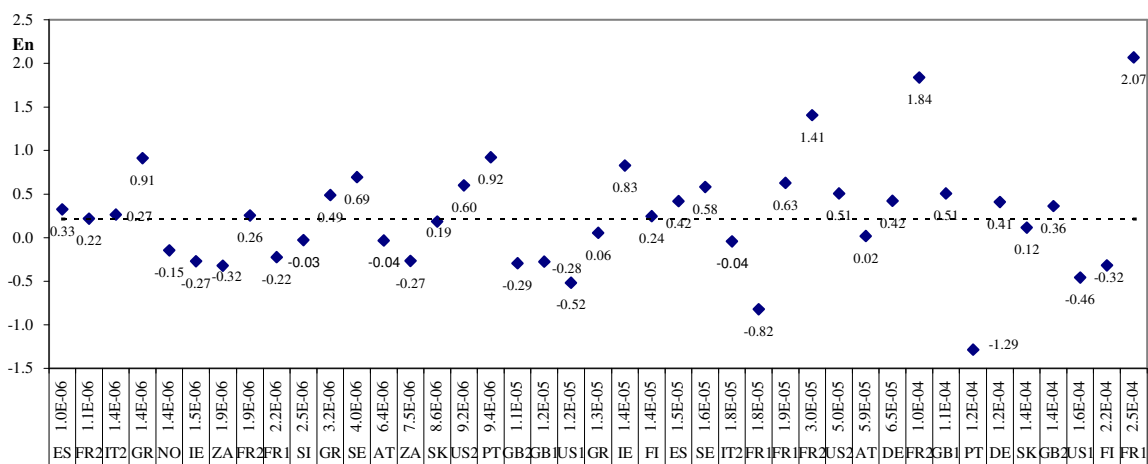
4) Refers to radius, diameter = 42 cm

## EA ILC IR4 Výsledky porovnania pre $N_{Hp(10)}$ - <sup>137</sup>Cs nízke príkony

### EA ILC IR3:



EA ILC IR3 výsledky pre  $^{137}\text{Cs}$  gama žiarenie vyjadrné ako normalizovaná chyba  $E_n$ . Graf zobrazuje stredné aritmetické hodnoty a median všetkých  $E_n$  výsledkov.



EA ILC IR3 výsledky pre  $^{137}\text{Cs}$  gama žiarenie vyjadrné ako normalizovaná chyba  $E_n$ . Graf zobrazuje stredné aritmetické hodnoty a median všetkých  $E_n$  výsledkov.

### COOMET.RI(I)-K1:

Priame výsledky spojovacích – referenčných laboratórií PTB, SMU a VNIIM, kde  $R_K$  vyjadruje stupeň ekvivalencie s etalónom BIPM.

	PTB	VNIIM	SMU
$R_K$	1,0099	1,0020	1,0033
$u(R_K)$	0,0018	0,0028	0,0027

Za najvýznamnejšie je možné považovať kľúčové porovnávacie merania BIPB.RI(I)-K1, EUROMET.RI(I)-K1, EUROMET.RI(I)-K4) a porovnanie v oblasti operačných veličín EA IR3 a EA IR4. Ich výsledky sú prezentované v správach, ktoré sú prílohy tohto dokumentu.

### **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 ionizujúceho žiarenia osvedčenie o akreditácii číslo K 038 od SNAS. Laboratórium dozimetrie má akreditované všetky základné kalibračné činnosti. Laboratórium dozimetrie je akreditované pre výskum a vývoj metód merania (laboratórium 3. typu). Centrum ionizujúceho žiarenia bolo reakreditované v roku 2007 a pravidelne je zo strany SNAS vykonávaný dohľad.

Všetky priestory NE sú nepretržite monitorované digitálnym teplomerom a vlhko-merom, ako aj radiačným monitorovacím systémom.

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

#### **Umiestnenie NE hmotnosti :**

Slovenský metrologický ústav Bratislava, Centrum 250, laboratórium dozimetrie, objekt „I“, miestnosti č. 043A, č. 043B a č. 043D.

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

Ing. Jozef Dobrovodský, PhD. - zodpovedá za technický stav NE žiarenia gama, zabezpečuje a realizuje rozvoj prístrojového vybavenia NE žiarenia gama, realizuje nadviazanie sekundárnych ionizačných komôr. Vykonáva kontrolu etalónového zariadenia a kontrolu metrologických parametrov meradiel v zostave NE. Zabezpečuje medzinárodnú akceptovateľnosť etalónu prostredníctvom medzilaboratórnych porovnávacích meraní.

Ing. Norman Durný - zodpovedá za realizáciu stupnice NE žiarenia gama. Vykonáva kontrolné a kalibračné merania, zabezpečuje merania ovplyvňujúcich veličín. Podieľa sa na údržbe a obnove etalónových zariadení.

Mgr. Jozef Martinkovič - vykonáva Monte Carlo simulácie a vývoj meracieho softvéru a hardvéru.

## 6. Zoznam publikácií o NE žiarenia gama

DOBROVODSKÝ, J.: Metrology of Ionising Radiation Quantities at SMU. In: XXV. Days of Radiation Protection, 27.- 29. 11. 2002, Jáchymov, s. 21-23.

DOBROVODSKÝ, J.: Progress report of the Ionising Radiation Laboratory at the Slovak Institute of Metrology. In: EUROMET - Workshop and Contact Person Meeting of the Technical Committee "Ionizing Radiation", 9-11 October 2002, Lisbon, Portugal

DURNÝ, N. - JENIS, V. - FARKAŠ, T. - DOBROVODSKÝ, J. - BUKOVJAN, J.: Reference radiation fields of dosimetry quantities standards. In: XXVII. Days of Radiation Protection : Conference Proceedings, 28. 11. - 2. 12. 2005, Liptovský Ján.

Bratislava : Slovenská spoločnosť nukleárnej medicíny a radiačnej hygieny SLS, 2005, s. 63.

DOBROVODSKÝ, J. - DURNÝ, N.: Aplikácia IAEA TRS 398 pri kalibrácii rádioterapeutických dozimetrov v Slovenskom metrologickom ústave. XXVI. dny radiačnej ochrany, november 2004, Bratislava, SMU

DOBROVODSKÝ, J.: Progress Report : Slovak Institute of Metrology - centre for ionising radiation. EUROMET - IR, September 2004, Paris, BNM

DOBROVODSKÝ, J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národného etalónu žiarenia gama : Záverečná správa úlohy 250 232. Bratislava : SMU, január 2003. 14 s.

DOBROVODSKÝ, J. a kol.: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónov dozimetrických veličín žiarenia gama, rtg. žiarenia a vysokoenergetických elektrónov a fotónov : Záverečná správa úlohy 250 232. Bratislava : SMU, december 2003. 13 s.

DOBROVODSKÝ, J.: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónu dozimetrických veličín žiarenia gama : Kód úlohy 250 232. Záverečná správa. Bratislava : SMU, december 2004. 17 s., prílohy

DOBROVODSKÝ, J. - DURNÝ, N. - BUKOVJAN, J. - JENIS, V. - FARKAŠ, T. - COMPEL, J.: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj národných etalónov žiarenia gama, rtg. žiarenia a neutrónov, spolupráca s Cyklotrónovým centrom : Kód úlohy: 250 230. Záverečná správa. Bratislava : SMU, december 2005. 30 s., prílohy

DOBROVODSKÝ, J. - COMPEL, J. - JENIS, V. - MARTINKOVIČ, J.: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj národných etalónov žiarenia gama, rtg. žiarenia a neutrónov; spolupráca s Cyklotrónovým centrom SR : Kód úlohy: 250 230. Záverečná správa. Bratislava : SMU, december 2006.

DOBROVODSKÝ, J. - COMPEL, J.: The Interlaboratory Comparison of Radiation Protection Quantities : Metrology practice. In: MATAVIMAI, roč. 39, 2007, č. 1, s. 37-39.

PALMANS, H. - DOBROVODSKÝ, J. - DURNÝ, N. - MARTINKOVIČ, J. ai.: Experimental set-up for alanine dosimetry in protons below 18MeV : NPL report IR 3. Teddington : NPL, 2007. 32 s.

PALMANS, H. - SHIPLEY, D. - MARTINKOVIČ, J. - DOBROVODSKÝ, J.: Literature review and simulations for total absorption calorimetry in a proton beam : NPL report IR 4. Teddington : NPL, 2007. 11 s.

DOBROVODSKÝ, J. - COMPEL, J. - DURNÝ, N. - JENIS, V. - MARTINKOVIČ, J.: Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj národných etalónov žiarenia gama, rtg. žiarenia a neutrónov; spolupráca s Cyklotrónovým centrom SR : Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2007. Kód úlohy: 250 230. Záv-

rečná správa. Bratislava : SMU, január 2008. 20 s. , prílohy

DOBROVODSKÝ, J. - MARTINKOVIČ, J.: iMERA - plus External Beam Cancer Therapy WP "Hadron therapy" : Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2008. Kód úlohy: 20854-0. Záverečná správa . Bratislava : SMU, január 2009. 9 s.

KRAMER, H. M. - BRODY, J. M. - DIJK van, E. - DOBROVODSKÝ, J. ai.: Metrology in external beam cancer therapy : [Report on project iMERA+ - JRP 7]. Braunschweig : PTB, 2009. 5 s.

DOBROVODSKÝ, J. - COMPEL, J. - JENIS, V.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov žiarenia gama, rtg žiarenia a neutrónov : Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2008. Kód úlohy: 25230-0. Záverečná správa. Bratislava : SMU, január 2009. 19 s., prílohy

DOBROVODSKÝ, J. - DURNÝ, N. - JENIS, V. - COMPEL, J. - MARTINKOVIČ, J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národných etalónov žiarenia gama, rtg. žiarenia a neutrónov : Úloha plánu výskumu a vývoja na rok 2009. Kód úlohy: 25230-0. Záverečná správa. Bratislava : SMU, január 2010. 23 s., príl.

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

ALLISY-ROBERTS, P.J. - BURNS, D.T. - GÁBRIŠ, F. - DOBROVODSKÝ, J.: Comparison of the standards of air kerma of the SMU Slovakia and the BIPM for  $^{60}\text{Co}$  [gama] rays : Rapport BIPM - 02/04. [Paris] : BIPM, 2002. 9 s.

M.P. Toni, M. Bov and G. Tricomi: Interlaboratory Comparison IR3 Calibration of a Radiation Protection Dosimeter FINAL REPORT European co-operation for Accreditation (EA), ENEA-INMRI 2003, p. 59

R. Dittler, J. Witzani: EA - Interlaboratory Comparison IR 4, Calibration of a Personal Dosimeter for Personal Dose Equivalent  $H_p(10)$ , Final Report, European co-operation for Accreditation (EA), ÖKD 2003, p. 16

BÜERMANN, L. - OBORIN, A.V. - DOBROVODSKÝ, J. ai: COOMET.RI(I)-K1 comparison of national measurement standards of air kerma for  $^{60}\text{Co}$  gama radiation : Final report. Paris : BIPM, 2009. 17 s.

Abstrakt publikovaný elektronicky: IoP electronic journals, Metrologia, 46, Technical Supplement 2009, 06015

CSETE, I. - LEITON, A.G. - SOCHOR, V. - DOBROVODSKÝ, J. ai: Comparison of air kerma and absorbed dose to water measurements of  $^{60}\text{Co}$  radiation beams for radiotherapy: Report on EUROMET project no. 813, identifiers in the BIPM key comparison database (KCDB) are EUROMET.RI(I)-K1 and EUROMET.RI(I)-K4. Budapest : MKEH, 2009. 46 s.

Abstrakt publikovaný elektronicky: IoP electronic journals, Metrologia, 47, Technical Supplement 2010, 06012.

## **7 Zoznam dokumentov súvisiacich s NE žiarenia gama**

Pravidlá používania a uchovávanía NE žiarenia gama, ver. 2010

PP 05/250 Kalibrácia a overovanie priestorových dozimetrov, verzia 2

PP 06/250 PP na nažarovanie pasívnych dozimetrov

PP 13/250 Kalibrácia a overovanie zostáv osobnej dozimetrie

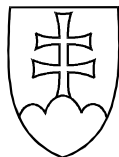
PP 14/250 Kalibrácia a overovanie priamoodčítacích dozimetrov

PP 16/250 Kalibrácia referenčných zväzkov fotónov



## Literatúra

- [1] Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation (Report 60), ICRU Report No. 60, 1998
- [2] Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation (Report 57), ICRU Report No. 57, 1998
- [3] ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3)
- [4] ICRP, 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3)
- [5] ISO 4037-1:1996, X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 1: Radiation characteristics and production methods
- [6] ISO 4037-2:1997 , X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV
- [7] ISO 4037-3:1999, X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence
- [8] IAEA TRS, AbsorbedDose Determination in Photon and Electron Beams -- An International Code of Practice - 2nd Edition Technical Reports Series No. 277 (1998)
- [9] The Use of Plane Parallel Ionization Chambers in High Energy Electron and Photon Beams - An International Code of Practice for Dosimetry, Technical Reports Series No. 381, (1997)
- [10] Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Reports Series No. 398, (2000)
- [11] Norma STN ISO 31-10 Veličiny a jednotky, 10. Časť: Jadrové reakcie a ionizujúce žiarenie
- [12] Norma STN 01 1310 Veličiny a jednotky, Ochrana pred ionizujúcim žiarením
- [13] Gábriš F., Beláň J., Expression of Uncertainty for Calibration and High Precision Measurements by the Ionisation Method, Rad. Prot. Dos., Vol. 63, No.2, pp.141-146, (1996).
- [14] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva (Switzerland), 1993;
- [15] Expression of the Uncerainty of Measurement in Calibration. Publication Reference EAL-R2, 1997; WECC Doc. 19;



## CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU

č. 028/01

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) na základe posúdenia návrhu č. ——— zo dňa ——— na schválenie národného etalónu 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 ŽIARENIA GAMA**

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

príkion kermy fotónov vo vzduchu $\dot{K}_a$	$(3 \cdot 10^{-8} \div 50) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ,
príkion priestorového dávkového ekvivalentu $\dot{H}^*(10)$	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ,
príkion osobného dávkového ekvivalentu $\dot{H}_p(10)$	$(5 \cdot 10^{-7} \div 1) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ,
príkion absorbovanej dávky vo vode $\dot{D}_w$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

Slovenský metrologický ústav  
Bratislava, Karloveská 63

**Osoba zodpovedná za etalón:**

Ing. Jozef Dobrovodský, CSc.

**Dátum schválenia návrhu:**

18. 12. 2001

Základné údaje o etalóne a podmienkach používania a uchovávaní etalónu podľa § 1 ods. 2 vyhlášky sú uvedené v správe o národnom etalóne „Súhrnná správa o etalóne žiarenia gama reprezentujúcom veličiny kerma fotónov vo vzduchu, absorbovaná dávka fotónov vo vode, dávkový ekvivalent fotónov a ich príkony“, SMU Bratislava, január 2000.

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, 27. 3. 2002

prof. Ing. Matej Bílý, DrSc.  
generálny riaditeľ

**Nadväznosť:**2. Primárny etalón kerry fotónov vo vzduchu:

Príkion kerry fotónov vo vzduchu  $\dot{K}_a$  meraný pomocou vzduchovej ionizačnej komory je definovaný vzťahom:

$$\dot{K}_a = \frac{I}{m} \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{1}{1-\bar{g}} \cdot \left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{a,c} \cdot \bar{s}_{c,a} \cdot \prod_i k_i,$$

kde

$I/m$  je ionizačný prúd na jednotku hmotnosti vzduchu v ionizačnej komore, meraný etalónom,

$m$  hmotnosť vzduchu v ionizačnej komore,

$W$  stredná energia elektrónu s nábojom  $e$  potrebná na vytvorenie páru iónov v suchom vzduchu,

$\bar{g}$  časť energie sekundárnych elektrónov uvoľnenej brzdným žiarením,

$\left( \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{a,c}$  pomer stredného koeficientu absorpcie energie vo vzduchu a v grafitu,

$\bar{s}_{c,a}$  hodnota pomeru stredných brzdných strát materiálu steny (grafitu) a vzduchu,

$\prod k_i$  súčin korekčných faktorov aplikovaných na etalón.

2. Secundárny etalón pre stredné a nízke príkony kerry je nadviazaný na primárny etalón kerry fotónov vo vzduchu OMH Budapešť, Maďarsko.

3. Stupnice veličín príkonu priestorového dávkového ekvivalentu, príkonu osobného dávkového ekvivalentu a príkonu absorbovanej dávky vo vode sú odvodené a sú nadviazané na stupnicu príkonu kerry fotónov vo vzduchu.

**Základné metrologické charakteristiky etalónu:**a) etalón kerry fotónov vo vzduchu – terapeutické príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkion kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{60}\text{Co}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	0,45

b) etalón kerry fotónov vo vzduchu - stredné a nízke príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkion kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,0
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	3,5
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,2

c) etalón priestorového dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkion priestorového dávkového ekvivalentu	$\dot{H}^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,3
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,8
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	3,6
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5

d) etalón osobného dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkion osobného dávkového ekvivalentu	$\dot{H}_p^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	2,0
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,7

## e) etalón absorbovanej dávky fotónov vo vode – terapeutické príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	u <sub>c</sub> [%]
príkon absorbovanej dávky vo vode	$\dot{D}_w$	<sup>60</sup> Co	(2·10 <sup>-4</sup> ÷ 1,4·10 <sup>-2</sup> ) Gy·s <sup>-1</sup>	1,2

Poznámka: u<sub>c</sub> [%] je relatívna kombinovaná štandardná neistota .

**Zostava etalónu:**

## 1. Súprava etalónových ionizačných komôr:

Typ	Výrobné číslo	Objem [m <sup>3</sup> ]	N <sub>Ka</sub> ( <sup>137</sup> Cs) [Gy·C <sup>-1</sup> ]	N <sub>Ka</sub> ( <sup>60</sup> Co) [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
ND 1005/A	8111	1·10 <sup>-6</sup>	2,840·10 <sup>7</sup> ±2,0 %	2,8019·10 <sup>7</sup> ±0,6 %	OMH Maďarsko
ND1001	7821	2·10 <sup>-5</sup>	1,491·10 <sup>6</sup> ±1,8 %	1,469·10 <sup>6</sup> ±1,8 %	OMH Maďarsko
ND1000	8115	1·10 <sup>-3</sup>	2,271·10 <sup>4</sup> ±2,0 %	2,268·10 <sup>4</sup> ±2,0 %	OMH Maďarsko
ND 1007	8906	1·10 <sup>-2</sup>	2,952·10 <sup>3</sup> ±2,0 %	2,930·10 <sup>3</sup> ±2,4 %	OMH Maďarsko
LND 5120	71188	8·10 <sup>-3</sup>	87,39 ±3,0 %	—	LND INC., USA
N233 333	946	6·10 <sup>-7</sup>	—	4,839·10 <sup>7</sup> ±1,0 %	PTW Freiburg, SRN

N<sub>Ka</sub> je kalibračný faktor ionizačnej komory platný pre referenčné podmienky pri teplote 20°C a pri atmosferickom tlaku 101,325 kPa. Udané neistoty kalibračného faktora sú relatívne rozšírené neistoty s koeficientom pokrytia k=2.

## 2. Etalónové meradlá ionizačného prúdu :

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A, v. č. 0664117, výrobca KEITHLEY USA,  
 Elektrometer Victoreen typ: 500, v. č. 933, výrobca Victoreen Inc., USA,

## 5. Pomocné meradlá a zariadenia:

Teploměr – 2 ks typ 04087, v. č. 115, 125, výrobca Sklářny Kavalír, ČSFR,

Teploměr - 2 ks typ 10087, v. č. 377, 386, výrobca Sklářny Kavalír, ČSFR,

Ortuťový barometer typ B1, v. č. 3598, výrobca VEB Kombinát, NDR,

Dutinomer-odpich typ 1500, v. č. 626, výrobca Zeiss, NDR,

PMMA fantóm SMU/PF/1 v. č. 94/1, SMU Bratislava.

**B. Referenčné vzásky fotónov**6. Kalibračný gama ožarovač, model IM4 / P, výr. č. 630/1997,  
výrobca: TEMA Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM4/2	<sup>137</sup> Cs	R6060	0935 GP	8,14·10 <sup>13</sup>	03.06.98	Amersham, USA
IM4/3	<sup>137</sup> Cs	R6030	0840 GP	8,90·10 <sup>12</sup>	03.06.98	Amersham, USA
IM4/1	<sup>137</sup> Cs	VZ-476/3	FV 516	5,55·10 <sup>11</sup>	15.01.98	Amersham, USA

5. Kalibračný gama ožarovač, model IM6 / M, výr. č. 631/1997,  
výrobca: Tema Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM6/3	<sup>137</sup> Cs	V-1726	FU 998	3,70·10 <sup>10</sup>	17.12.97	Amersham, USA
IM6/5	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 997	1,85·10 <sup>9</sup>	18.12.97	Amersham, USA
IM6/2	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 996	1,85·10 <sup>8</sup>	17.12.97	Amersham, USA
IM6/1	<sup>137</sup> Cs	VZ130/2	FU 995	1,85·10 <sup>7</sup>	17.12.97	Amersham, USA
IM6/4	<sup>60</sup> Co	VZ260/2	FU999	1,85·10 <sup>9</sup>	10.12.97	Amersham, USA

9. Kalibračný gama ožarovač Chisobalt B 75, výr.č. 70121180123321

výrobca: Chirana Modřany, ČSSR

obsahujúci rádionuklidový zdroj fotónov gama:

Pozícia	Rádio-nuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
Chisobalt	$^{60}\text{Co}$	GIK 9-4	136	$2,75 \cdot 10^{14}$	30.09.97	RIAR Rusko

10. Meracia lavica Cs, typ L-8200, výr.č. 8200Cs, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR,

11. Meracia lavica Co, typ L-8200, výr.č. 8200Co, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR.

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

veľičina	parameter	minimálna ÷ maximálna hodnota	rozšírená neistota (k=2)	metóda
1. kerma vo vzduchu	$^{60}\text{Co}$	$(2 \cdot 10^{-2} \div 50)$ Gy	1,3 %	A
2. príkon kermy vo vzduchu	$^{60}\text{Co}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	1,3 %	A
3. kerma vo vzduchu	$^{137}\text{Cs}$	$(1 \cdot 10^{-9} \div 5)$ Gy	(7,0 ÷ 2,0) %	B
4. príkon kermy vo vzduchu	$^{137}\text{Cs}$	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Gy·h <sup>-1</sup>	(7,0 ÷ 2,0) %	B
5. kerma vo vzduchu	$^{60}\text{Co}$	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy	2,5 %	B
6. príkon kermy vo vzduchu	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy·h <sup>-1</sup>	2,5 %	B
7. priestorový dávkový ekvivalent	$^{137}\text{Cs}$	$(1 \cdot 10^{-9} \div 5)$ Sv	(7,5 ÷ 3,0) %	B
8. príkon priest. dávkového ekvivalentu	$^{137}\text{Cs}$	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Sv·h <sup>-1</sup>	(7,5 ÷ 3,0) %	B
9. priestorový dávkový ekvivalent	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	3,5 %	B
10. príkon priest. dávkového ekvivalentu	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	3,5 %	B
11. osobný dávkový ekvivalent	$^{137}\text{Cs}$	$(1 \cdot 10^{-8} \div 10)$ Sv	4,0 %	C
12. príkon osob. dávkového ekvivalentu	$^{137}\text{Cs}$	$(1 \cdot 10^{-7} \div 1)$ Sv·h <sup>-1</sup>	4,0 %	C
13. osobný dávkový ekvivalent	$^{60}\text{Co}$	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	4,0 %	C
14. príkon osob. dávkového ekvivalentu	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	4,0 %	C
15. absorbovaná dávka vo vode	$^{60}\text{Co}$	$(5 \cdot 10^{-1} \div 50)$ Gy	2,3 %	D
16. príkon absorb. dávky vo vode	$^{60}\text{Co}$	$(5 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	2,3 %	D

Metódy: A - substitučná metóda,

B - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli vo vzduchu,

C - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli na PMMA fantóme,

D - kalibrácia pomocou prenosovej komory vo vodnom fantóme.

### Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:

**BIPM.RI(I-K1)**

### Miesto uchovávaní a používania etalónu:

**Slovenský metrologický ústav**

**Karloveská 63**

**Bratislava**

**Laboratórium dozimetrie a aktivity rádionuklidov**

**centra ionizujúceho žiarenia a akustiky**

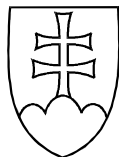
**suterén pavilónu "I",**

**miestnosti č. 043A, č. 043B a č. 043D**

.....  
Ing. Jozef Dobrovodský, CSc.  
osoba zodpovedná za etalón

.....  
Ing. Robert Spurný, CSc.  
námestník generálneho riaditeľa  
pre výskum

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



## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

**č. 028/04, Revízia 1**

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 a § 32 ods. 2 písm. d) a zákona č. 142/2000 Z. z. o metrologii 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. 028/04 zo dňa 15. 12. 2004 potvrdzuje, že všetky podmienky ustanovené v § 1 ods. 1 vyhlášky Úradu pre normalizáciu metrologiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky č. 210/2000 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení neskorších predpisov (ďalej len "vyhláška") na schválenie etalónu za národný etalón boli splnené.

**Názov etalónu:**

**ETALÓN ŽIARENIA GAMA**

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

**kerma fotónov vo vzduchu**  $(1 \cdot 10^{-9} \div 50)$  Gy a jej príkon  $(3 \cdot 10^{-8} \div 50)$  Gy·h<sup>1</sup>,  
**priestorový dávkový ekvivalent**  $(1 \cdot 10^{-9} \div 50)$  Sv a jeho príkon  $(3 \cdot 10^{-8} \div 50)$  Sv·h<sup>-1</sup>,  
**osobný dávkový ekvivalent**  $(1 \cdot 10^{-8} \div 10)$  Sv a jeho príkon  $(1 \cdot 10^{-7} \div 1)$  Sv·h<sup>-1</sup>,  
**absorbovaná dávka vo vode**  $(1 \cdot 10^{-1} \div 50)$  Gy a jej príkon  $(1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$  Gy·s<sup>-1</sup>

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.**

**Dátum schválenia revízie:**

**18. 2. 2005**

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. 028/04.

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.

Certifikát č. 028/04 Revízia 1, nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 028/01 zo dňa 27. 3. 2002

V Bratislave, 21. 2. 2005

prof. Ing. Matej Bíly, DrSc.  
 generálny riaditeľ

**Nadväznosť:**1. Primárny etalón kermy fotónov vo vzduchu a jeho príkonu:

Príkon kermy fotónov vo vzduchu  $\dot{K}_a$  meraný pomocou vzduchovej ionizačnej komory je definovaný vzťahom:

$$\dot{K}_a = \frac{I}{m} \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{1}{1 - \bar{g}} \cdot \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c} \cdot \bar{s}_{c,a} \cdot \prod_i k_i,$$

kde

$I/m$  je ionizačný prúd na jednotku hmotnosti vzduchu v ionizačnej komore, meraný etalónom,

$m$  hmotnosť vzduchu v ionizačnej komore,

$W$  stredná energia elektrónu s nábojom  $e$  potrebná na vytvorenie páru iónov v suchom vzduchu,

$\bar{g}$  časť energie sekundárnych elektrónov uvoľnenej brzdným žiarením,

$\left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c}$  pomer stredného koeficientu absorpcie energie vo vzduchu a v grafitu,

$\bar{s}_{c,a}$  hodnota pomeru stredných brzdných strát materiálu steny (grafitu) a vzduchu,

$\prod k_i$  súčin korekčných faktorov aplikovaných na etalón.

Meradlá ovplyvňujúcich veličín sú nadviazané na etalóny SMU.

2. Sekundárny etalón pre stredné a nízke príkony kermy je nadviazaný na primárny etalón kermy fotónov vo vzduchu OMH Budapešť, Maďarsko.

3. Stupnice veličín príkonu priestorového dávkového ekvivalentu, príkonu osobného dávkového ekvivalentu a príkonu absorbovanej dávky vo vode sú odvodené a sú nadviazané na stupnicu príkonu kermy fotónov vo vzduchu.

**Základné metrologické charakteristiky etalónu:**a) etalón kermy fotónov vo vzduchu – terapeutické príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon kermy fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	0,45

b) etalón kermy fotónov vo vzduchu - stredné a nízke príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon kermy fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,0
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	3,5
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,2

c) etalón priestorového dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon priestorového dávkového ekvivalentu	$\dot{H}^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,3
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,8
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	3,6
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5

d) etalón osobného dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon osobného dávkového ekvivalentu	$\dot{H}_p^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(1 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	2,0
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,7

## e) etalón absorbovanej dávky fotónov vo vode – terapeutické príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon absorbovanej dávky vo vode	$\dot{D}_w$	$^{60}\text{Co}$	$(5 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	0,65

Poznámka:  $u_c$  [%] je relatívna kombinovaná štandardná neistota .

**Zostava etalónu:**

## 1. Súprava etalónových ionizačných komôr:

Typ	Výrobné číslo	Objem [m <sup>3</sup> ]	$N_{\text{Ka}} (^{137}\text{Cs})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	$N_{\text{Ka}} (^{60}\text{Co})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
ND 1005/A	8111	$1 \cdot 10^{-6}$	$2,840 \cdot 10^7 \pm 2,0 \%$	$2,8019 \cdot 10^7 \pm 0,6 \%$	OMH Maďarsko
ND1001	8110	$2 \cdot 10^{-5}$	$1,439 \cdot 10^6 \pm 2,1 \%$	$1,469 \cdot 10^6 \pm 1,8 \%$	OMH Maďarsko
ND1000	8115	$1 \cdot 10^{-3}$	$2,271 \cdot 10^4 \pm 2,0 \%$	$2,268 \cdot 10^4 \pm 2,0 \%$	OMH Maďarsko
ND 1007	8906	$1 \cdot 10^{-2}$	$2,949 \cdot 10^3 \pm 2,1 \%$	$2,978 \cdot 10^3 \pm 2,4 \%$	OMH Maďarsko
LND 5120	71188	$8 \cdot 10^{-3}$	$89,16 \pm 2,7 \%$	—	LND INC., USA
N233 333	946	$6 \cdot 10^{-7}$	—	$4,839 \cdot 10^7 \pm 1,2 \%$	PTW Freiburg, SRN

$N_{\text{Ka}}$  je kalibračný faktor ionizačnej komory platný pre referenčné podmienky pri teplote 20°C a pri atmosferickom tlaku 101,325 kPa. Udávané neistoty kalibračného faktora sú relatívne rozšírené neistoty s koeficientom pokrytia  $k=2$ . Hodnoty  $N_{\text{Ka}}$  sú orientačné, platné v čase kalibrácie.

## 2. Etalónové meradlá ionizačného náboja / prúdu :

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A, v. č. 0760221, výrobca KEITHLEY USA,  
 Elektrometer KEITHLEY typ 6517A, v. č. 0664117, výrobca KEITHLEY USA,

## 7. Pomocné meradlá a zariadenia:

Teplomer – 2 ks typ 04087, v. č. 115, 125, výrobca Sklářny Kavalír, ČSFR,  
 Teplomer - 2 ks typ 10087, v. č. 377, 386, výrobca Sklářny Kavalír, ČSFR,  
 Ortuťový barometer typ B1, v. č. 3598, výrobca VEB Kombinát, NDR,  
 Meradlo ovplyvňujúcich veličín: teplota, tlak, vlhkosť, typ Almemo 2290-4, výrobca Ahlborn, SRN,  
 v.č. H02010182M, v.č. H02020270M, v.č. H02020271M.  
 Dutinomer-odpich typ 1500, v. č. 626, výrobca Zeiss, NDR,  
 PMMA fantóm SMU/PF/1 v. č. 94/1, SMU Bratislava.

**B. Referenčné vzásky fotónov**

8. Kalibračný gama ožarovač, model IM4 / P, výr. č. 630/1997,  
 výrobca: TEMA Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
 obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM4/2	$^{137}\text{Cs}$	R6060	0935 GP	$8,14 \cdot 10^{13}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/3	$^{137}\text{Cs}$	R6030	0840 GP	$8,90 \cdot 10^{12}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/1	$^{137}\text{Cs}$	VZ-476/3	FV 516	$5,55 \cdot 10^{11}$	15.01.98	Amersham, USA

5. Kalibračný gama ožarovač, model IM6 / M, výr. č. 631/1997,  
 výrobca: Tema Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
 obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM6/3	$^{137}\text{Cs}$	V-1726	FU 998	$3,70 \cdot 10^{10}$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/5	$^{137}\text{Cs}$	VZ-130/2	FU 997	$1,85 \cdot 10^9$	18.12.97	Amersham, USA
IM6/2	$^{137}\text{Cs}$	VZ-130/2	FU 996	$1,85 \cdot 10^8$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/1	$^{137}\text{Cs}$	VZ130/2	FU 995	$1,85 \cdot 10^7$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/4	$^{60}\text{Co}$	VZ260/2	FU999	$1,85 \cdot 10^9$	10.12.97	Amersham, USA



12. Kalibračný gama ožarovač Chisobalt B 75, výr.č. 70121180123321

výrobca: Chirana Modřany, ČSSR

obsahujúci rádionuklidový zdroj fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
Chisobalt	<sup>60</sup> Co	GIK 9-4	136	$2,75 \cdot 10^{14}$	30.09.97	RIAR Rusko

13. Meracia lavica Cs, typ L-8200, výr.č. 8200Cs, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR,

14. Meracia lavica Co, typ L-8200, výr.č. 8200Co, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR.

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

veľičina	parameter	minimálna ÷ maximálna hodnota	rozšírená neistota	metóda (k=2)
1. kerma vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(2 \cdot 10^{-2} \div 50)$ Gy	1,3 %	A
2. príkon kermy vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	1,3 %	A
3. kerma vo vzduchu	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-9} \div 10)$ Gy	(8,0 ÷ 2,0) %	B
4. príkon kermy vo vzduchu	<sup>137</sup> Cs	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Gy·h <sup>-1</sup>	(8,0 ÷ 2,0) %	B
5. kerma vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy	2,5 %	B
6. príkon kermy vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy·h <sup>-1</sup>	2,5 %	B
7. priestorový dávkový ekvivalent	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-9} \div 10)$ Sv	(8,0 ÷ 3,0) %	B
8. príkon priest. dávkového ekvivalentu	<sup>137</sup> Cs	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Sv·h <sup>-1</sup>	(8,0 ÷ 3,0) %	B
9. priestorový dávkový ekvivalent	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	4,0 %	B
10. príkon priest. dávkového ekvivalentu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	4,0 %	B
11. osobný dávkový ekvivalent	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-8} \div 10)$ Sv	5,0 %	C
12. príkon osob. dávkového ekvivalentu	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-7} \div 1)$ Sv·h <sup>-1</sup>	5,0 %	C
13. osobný dávkový ekvivalent	<sup>60</sup> Co	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	5,0 %	C
14. príkon osob. dávkového ekvivalentu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	5,0 %	C
15. absorbovaná dávka vo vode	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-1} \div 50)$ Gy	1,3 %	D
16. príkon absorb. dávky vo vode	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	1,3 %	D

Metódy: A - substitučná metóda,

B - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli vo vzduchu,

C - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli na PMMA fantóme,

D - kalibrácia pomocou prenosovej komory vo vodnom fantóme.

### Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:

**BIPM.RI(I-K1)**

### Miesto uchovávaní a používania etalónu:

**Slovenský metrologický ústav**

**Karloveská 63**

**Bratislava**

**Laboratórium dozimetrie**

**Centra ionizujúceho žiarenia**

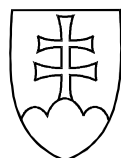
**suterén pavilónu "I",**

**miestnosti č. 043A, č. 043B a č. 043D**

.....  
Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.  
osoba zodpovedná za etalón  
pre výskum

.....  
Ing. Stanislav Ďuriš, PhD.  
námestník generálneho riaditeľa

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



## **CERTIFIKÁT NÁRODNÉHO ETALÓNU**

### **č. 028/10, Revízia 2**

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 ŽIARENIA GAMA**

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

**kerma fotónov vo vzduchu**  $(1 \cdot 10^{-9} \div 50)$  Gy a jej príkon  $(3 \cdot 10^{-8} \div 50)$  Gy·h<sup>1</sup>,  
**priestorový dávkový ekvivalent**  $(1 \cdot 10^{-9} \div 50)$  Sv a jeho príkon  $(3 \cdot 10^{-8} \div 50)$  Sv·h<sup>-1</sup>,  
**osobný dávkový ekvivalent**  $(1 \cdot 10^{-8} \div 10)$  Sv a jeho príkon  $(1 \cdot 10^{-7} \div 1)$  Sv·h<sup>-1</sup>,  
**absorbovaná dávka vo vode**  $(1 \cdot 10^{-1} \div 50)$  Gy a jej príkon  $(1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$  Gy·s<sup>-1</sup>

**Názov a sídlo vlastníka etalónu:**

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

**Osoba zodpovedná za etalón:**

**Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.**

**Dátum schválenia revízie:**

**30. 2. 2011**

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. 028/10.

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. 028/10 Revízia 3, nahrádza v plnom rozsahu certifikát č. 028/04 zo dňa 21. 2. 2004

V Bratislave, 30. 11. 2010

prof. Ing. Rudolf Durný, DrSc.  
generálny riaditeľ

## Nadväznosť:

### 1. Primárny etalón kerry fotónov vo vzduchu a jeho príkonu:

Príkon kerry fotónov vo vzduchu  $\dot{K}_a$  meraný pomocou vzduchovej ionizačnej komory je definovaný vzťahom:

$$\dot{K}_a = \frac{I}{m} \cdot \frac{W}{e} \cdot \frac{1}{1-\bar{g}} \cdot \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c} \cdot \bar{s}_{c,a} \cdot \prod_i k_i,$$

kde

$I/m$  je ionizačný prúd na jednotku hmotnosti vzduchu v ionizačnej komore, meraný etalónom,

$m$  hmotnosť vzduchu v ionizačnej komore,

$W$  stredná energia elektrónu s nábojom  $e$  potrebná na vytvorenie páru iónov v suchom vzduchu,

$\bar{g}$  časť energie sekundárnych elektrónov uvoľnenej brzdným žiarením,

$\left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{a,c}$  pomer stredného koeficientu absorpcie energie vo vzduchu a v grafitu,

$\bar{s}_{c,a}$  hodnota pomeru stredných brzdných strát materiálu steny (grafitu) a vzduchu,

$\prod k_i$  súčin korekčných faktorov aplikovaných na etalón.

Meradlá ovplyvňujúcich veličín sú nadviazané na etalóny SMU.

2. Sekundárny etalón pre stredné a nízke príkony kerry je nadviazaný na primárny etalón kerry fotónov vo vzduchu SMU a medzinárodné etalóny.

3. Sekundárny etalón absorbovanej dávky vo vode je nadviazaný na medzinárodné etalóny.

4. Stupnice veličín príkonu priestorového dávkového ekvivalentu, príkonu osobného dávkového ekvivalentu a príkonu absorbovanej dávky vo vode sú odvodené a sú nadviazané na stupnicu príkonu kerry fotónov vo vzduchu.

## Základné metrologické charakteristiky etalónu:

### a) etalón kerry fotónov vo vzduchu – terapeutické príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	0,45

### b) etalón kerry fotónov vo vzduchu - stredné a nízke príkony

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon kerry fotónov vo vzduchu	$\dot{K}_a$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,0
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	3,5
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$	1,2

### c) etalón priestorového dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon priestorového dávkového ekvivalentu	$\dot{H}^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 5) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,3
			$(5 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,8
			$(3 \cdot 10^{-8} \div 5 \cdot 10^{-7}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	3,6
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5

### d) etalón osobného dávkového ekvivalentu

veličina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon osobného dávkového ekvivalentu	$\dot{H}_p^*(10)$	$^{137}\text{Cs}$	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,5
			$(1 \cdot 10^{-7} \div 2 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	2,0
		$^{60}\text{Co}$	$(1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-4}) \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$	1,7

e) etalón absorbovanej dávky fotónov vo vode – terapeutické príkony

veľičina	označenie	parameter	rozsah	$u_c$ [%]
príkon absorbovanej dávky vo vode	$\dot{D}_w$	$^{60}\text{Co}$	$(5 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2}) \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1}$	1,0

Poznámka:  $u_c$  [%] je relatívna kombinovaná štandardná neistota .

**Zostava etalónu:**

1. Súprava etalónových ionizačných komôr:

Typ	Výrobné číslo	Objem [cm <sup>3</sup> ]	$N_{\text{Ka}} (^{137}\text{Cs})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	$N_{\text{Ka}} (^{60}\text{Co})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
ND 1005/A	8111	1	$2,840 \cdot 10^7 \pm 1,0 \%$	$2,8215 \cdot 10^7 \pm 0,6 \%$	OMH Maďarsko
ND1000	8115	$1 \cdot 10^3$	$2,272 \cdot 10^4 \pm 1,5 \%$	$2,262 \cdot 10^4 \pm 1,5 \%$	OMH Maďarsko
ND 1007	8906	$1 \cdot 10^4$	$2,980 \cdot 10^3 \pm 1,8 \%$	$2,961 \cdot 10^3 \pm 1,8 \%$	OMH Maďarsko
LND 5120	71188	$8 \cdot 10^3$	$88,11 \pm 2,7 \%$	$87,93 \pm 2,7 \%$	LND INC., USA
TW 23361	551	30	$9,360 \cdot 10^5 \pm 1,4 \%$	$9,293 \cdot 10^5 \pm 1,4 \%$	PTW Freiburg, Nemecko

Typ	Výrobné číslo	Objem [cm <sup>3</sup> ]	$N_{\text{Dw}} (^{60}\text{Co})$ [Gy·C <sup>-1</sup> ]	Výrobca
TW 30013	1452	0,6	$5,38 \cdot 10^7 \pm 1,9 \%$	PTW Freiburg, Nemecko

$N_{\text{Ka}}$  a  $N_{\text{Dw}}$  je kalibračný faktor ionizačnej komory platný pre referenčné podmienky pri teplote 20°C a pri atmosférickom tlaku 101,325 kPa. Udané neistoty kalibračného faktora sú relatívne rozšírené neistoty s koeficientom pokrytia  $k=2$ . Hodnoty  $N_{\text{Ka}}$  a  $N_{\text{Dw}}$  sú orientačné, platné v čase kalibrácie.

2. Etalónové meradlá ionizačného náboja / prúdu :

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A, v. č. 0760221, výrobca KEITHLEY USA,  
 Elektrometer KEITHLEY typ 6517B, v. č. 1239965, výrobca KEITHLEY USA.  
 Elektrometer UNIDOS typ T 10002, v. č. 20599, výrobca PTW Nemecko.

3. Pomocné meradlá a zariadenia:

meradlo ovplyvňujúcich veličín: teplota, tlak, vlhkosť, typ Almemo 2290-4, v.č. H02010182M, v.č. H02020269M, v.č. H02020271M, výrobca Ahlborn, SRN,  
 dutinomer-odpich typ 1500, v. č. 626, výrobca Zeiss, NDR,  
 vodný fantóm rádioterapeutický PTW Nemecko,  
 PMMA fantóm SMU/PF/1 v. č. 94/1, SMU Bratislava.

**B. Referenčné vzásky fotónov**

4. Kalibračný gama ožarovač, model IM4 / P, výr. č. 630/1997,  
 výrobca: TEMA Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
 obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM4/2	$^{137}\text{Cs}$	R6060	0935 GP	$8,14 \cdot 10^{13}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/3	$^{137}\text{Cs}$	R6030	0840 GP	$8,90 \cdot 10^{12}$	03.06.98	Amersham, USA
IM4/1	$^{137}\text{Cs}$	VZ-476/3	FV 516	$5,55 \cdot 10^{11}$	15.01.98	Amersham, USA

5. Kalibračný gama ožarovač, model IM6 / M, výr. č. 631/1997,  
výrobca: Tema Sinergie S.r.l., Faenza, Taliansko  
obsahujúci rádionuklidové zdroje fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
IM6/3	<sup>137</sup> Cs	V-1726	FU 998	$3,70 \cdot 10^{10}$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/5	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 997	$1,85 \cdot 10^9$	18.12.97	Amersham, USA
IM6/2	<sup>137</sup> Cs	VZ-130/2	FU 996	$1,85 \cdot 10^8$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/1	<sup>137</sup> Cs	VZ130/2	FU 995	$1,85 \cdot 10^7$	17.12.97	Amersham, USA
IM6/4	<sup>60</sup> Co	VZ260/2	FU999	$1,85 \cdot 10^9$	10.12.97	Amersham, USA

6. Kalibračný gama ožarovač Chisobalt B 75, výr.č. 70121180123321  
výrobca: Chirana Modřany, ČSSR  
obsahujúci rádionuklidový zdroj fotónov gama:

Pozícia	Rádionuklid	Typ zdroja	Výr. číslo	Aktivita [Bq]	Referenčný dátum	Výrobca
Chisobalt	<sup>60</sup> Co	GIK 9-4	136	$2,75 \cdot 10^{14}$	30.09.97	RIAR Rusko

7. Meracia lavica Cs, typ L-8200, výr.č. 8200Cs, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR,  
8. Meracia lavica Co, typ L-8200, výr.č. 8200Co, výrobca MTT- Meracia technika –techn. SR.

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

veľičina	parameter	minimálna ÷ maximálna hodnota	rozšírená neistota (k=2)	metóda
1. kerma vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(2 \cdot 10^{-2} \div 50)$ Gy	1,3 %	A
2. príkon kermy vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(2 \cdot 10^{-4} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	1,3 %	A
3. kerma vo vzduchu	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-9} \div 5)$ Gy	(7,0 ÷ 2,0) %	B
4. príkon kermy vo vzduchu	<sup>137</sup> Cs	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Gy·h <sup>-1</sup>	(7,0 ÷ 2,0) %	B
5. kerma vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy	2,5 %	B
6. príkon kermy vo vzduchu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Gy·h <sup>-1</sup>	2,5 %	B
7. priestorový dávkový ekvivalent	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-9} \div 5)$ Sv	(7,5 ÷ 3,0) %	B
8. príkon priest. dávkového ekvivalentu	<sup>137</sup> Cs	$(3 \cdot 10^{-8} \div 5)$ Sv·h <sup>-1</sup>	(7,5 ÷ 3,0) %	B
9. priestorový dávkový ekvivalent	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	3,5 %	B
10. príkon priest. dávkového ekvivalentu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	3,5 %	B
11. osobný dávkový ekvivalent	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-8} \div 10)$ Sv	4,0 %	C
12. príkon osob. dávkového ekvivalentu	<sup>137</sup> Cs	$(1 \cdot 10^{-7} \div 1)$ Sv·h <sup>-1</sup>	4,0 %	C
13. osobný dávkový ekvivalent	<sup>60</sup> Co	$(3 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv	4,0 %	C
14. príkon osob. dávkového ekvivalentu	<sup>60</sup> Co	$(1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-4})$ Sv·h <sup>-1</sup>	4,0 %	C
15. absorbovaná dávka vo vode	<sup>60</sup> Co	$(5 \cdot 10^{-1} \div 50)$ Gy	2,3 %	D
16. príkon absorb. dávky vo vode	<sup>60</sup> Co	$(5 \cdot 10^{-3} \div 1,4 \cdot 10^{-2})$ Gy·s <sup>-1</sup>	2,3 %	D

Metódy: A - substitučná metóda,

B - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli vo vzduchu,

C - ožarovanie v kalibrovanom referenčnom fotónovom poli na PMMA fantóme,

D - kalibrácia pomocou prenosovej komory vo vodnom fantóme.

**Prehľad kľúčových porovnávacích meraní:**

BIPB.RI(I)-K1, EUROMET.RI(I)-K1, EUROMET.RI(I)-K4) a EA IR3 a EA IR4

**Miesto uchovávanía a používania etalónu :**

**Slovenský metrologický ústav  
Karloveská 63  
Bratislava  
Laboratórium dozimetrie a aktivity rádionuklidov  
centra ionizujúceho žiarenia a akustiky  
suterén pavilónu "I",  
miestnosti č. 043A, č. 043B a č. 043D**

.....  
Ing. Jozef Dobrovodský, PhD.  
osoba zodpovedná za etalón  
riaditeľ centra ionizujúceho žiarenia

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