

# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 015/98 Národný etalón rtg. žiarenia

**Osoba zodpovedná  
za národný etalón:** RNDr. Jaroslav Compel

**Správu vypracoval:** RNDr. Jaroslav Compel

**Bratislava, december 2010**

**OBSAH**  
**SÚHRNNEJ SPRÁVY O NE RTG. ŽIARENIA**

<b>1. Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE rtg. žiarenia</b>	<b>3</b>
<b>2. Podrobný popis NE rtg. žiarenia a s ním spojených zariadení</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Základné princípy</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Prístrojová zostava NE rtg. žiarenia</b>	<b>9</b>
2.2.1 Súčasti etalónu ku dňu vyhlásenia	9
2.2.1.2.1 Ionizačná komora OMH typ ND1001	12
2.2.1.2.2 Ionizačná komora OMH typ ND1000	13
2.2.1.2.3 Ionizačná komora Capintec typ PR-18	14
2.2.1.2.4 Ionizačná komora EXRADIN typ A4	14
2.2.1.3.1 Elektrometer DPI 02 so sadou kapacitných normálov	15
2.2.2 Zmeny uskutočnené pri revízii NE v r. 2004	19
2.2.2.1.5 Tlakomery	20
2.2.2.1.6 Teplomery	20
2.2.3 Navrhované zmeny pri tejto revízii NE	24
<b>3. Špecifikácia metrologických vlastností Slovenského národného etalónu rtg. žiarenia</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Metrologické parametre zdroja referenčného rtg. žiarenia</b>	<b>25</b>
3.1.1 Priečny profil referenčného zväzku rtg. žiarenia	25
3.1.2 Pozdĺžny profil referenčného zväzku rtg. žiarenia	30
3.1.3 1. a 2. polhrúbka a homogenita rtg. zväzku	31
3.1.4 Závislosť príkonu kermy vo vzduchu od prúdu v rtg. lampe	32
<b>3.2 Rozsah hodnôt veličín reprodukovateľných NE rtg. žiarenia</b>	<b>33</b>
<b>4. Prehľad výsledkov výskumu, vývoja a medzinárodných porovnaní</b>	<b>37</b>
<b>5. Inštitúcie, útvary a osoby zodpovedné za NE rtg. žiarenia</b>	<b>41</b>
<b>6. Zoznam publikácií o NE rtg. žiarenia</b>	<b>42</b>
<b>7. Zoznam dokumentov súvisiacich s NE rtg. žiarenia</b>	<b>43</b>
<b>Príloha 1: Osvedčenie o národnom etalóne číslo 015/98</b>	<b>46</b>
<b>Príloha 2: Certifikát národného etalónu č. 015/02</b>	<b>47</b>
<b>Príloha 3: Certifikát národného etalónu č. 015/04</b>	<b>48</b>
<b>Príloha 4: Národný etalón rtg. žiarenia - Pravidlá používania a uchovávanía (rev. 2)</b>	<b>49</b>
<b>Príloha 5: Správa o účasti na kľúčových a medzinárodných porovnaníach</b>	<b>50</b>
<b>Príloha 6: CMC tabuľky – časť obsahujúca veličiny odvodené od NE rtg.</b>	<b>51</b>

## **Preambula**

### **Názov etalónu: Národný etalón rtg. žiarenia, NE 015**

**Forma a dátum vyhlásenia etalónu:** Národný etalón 015 bol vyhlásený v roku 1998 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 s názvom „Etalón kermy a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov“ (Osvedčenie o národnom etalóne číslo 015/98 zo dňa 08.12.1998 vydané UNMS SR v Bratislave (príloha 1)), v roku 2002 bol certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom (Certifikát č. 015/02 zo dňa 25.7.2002 (príloha 2)) a v rokoch 2004-2005 bol revidovaný a premenovaný na „Národný etalón rtg. žiarenia“ (Certifikát č. 015/04 zo dňa 21.02.2005 (príloha 3)).

**Osoba zodpovedná za etalón:** RNDr. Jaroslav Compel

### **1. Technicko-ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu NE rtg. žiarenia**

Pre účely ochrany zdravia ľudí pred ionizujúcim žiarením, k evidencii osobných dávok a ku kontrole, či nedošlo k prekročeniu limitov stanovených zákonmi o ochrane pred žiarením, ktoré zohrávajú dôležitú úlohu predovšetkým pri ochrane zdravia nielen pracovníkov s ionizujúcim žiarením, ale aj obyvateľstva, pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia, či už pri jeho priamej aplikácii, predovšetkým v zdravotníctve v rádiodiagnostike a v priemysle pri defektoskopii, ale aj ako sprievodného produktu používania iných zdrojov ionizujúceho žiarenia, či už v jadrovo-energetických zariadeniach, pri urýchlovačoch nabitých častíc atď. sa vyžaduje meranie viacerých dozimetrických veličín pre fotóny röntgenového (rtg.) žiarenia (dávnejšie označovanom ako žiarenie X): kerma, priestorový dávkový ekvivalent, smerový dávkový ekvivalent, osobný dávkový ekvivalent (v hĺbke 10 a 0,07 mm), ekvivalentná dávka v prstoch, ekvivalentná dávka v končatinách, ekvivalentná dávka vo vode a ich príkony. Na zabezpečenie reprodukcie týchto veličín v tejto oblasti ako aj na zabezpečenie kontrolných funkcií štátu v oblasti správnosti meraní na národnej úrovni bolo potrebné zriadiť príslušný národný etalón.

Zavedenie a uchovávanie takéhoto etalónu bolo a naďalej aj je dôležité pre zabezpečenie nadväznosti, jednotnosti a správnosti meraní veličín v tejto oblasti, ktorá sa zabezpečuje predovšetkým kalibráciami príslušných druhov meradiel, overovaním určených druhov meradiel a vykonávaním typových skúšok meradiel a meracích zostáv určených na meranie fotónového ionizujúceho žiarenia, u ktorých sa vyžaduje skúška závislosti odozvy meradla od energie fotónov alebo skúška smerovej závislosti, prípadne odozva na nízkoenergetické fotóny, čo je predovšetkým u osobných dozimetrov a dozimetrov prostredia, ktoré sú používané pre radiačnú ochranu pracovníkov pred nepriaznivými účinkami ionizujúceho žiarenia, ale aj u monitorov žiarenia pre monitorovanie životného a pracovného prostredia. Zvlášť veľký význam má však kalibrácia, overovanie a vykonávanie typových skúšok u meradiel kvality rtg. zväzkov, ktoré sú používané na overovanie parametrov zdrojov rtg. žiarenia. Táto požiadavka bola vyjadrená aj v koncepcii štátnej politiky v oblasti metrológie od roku 2000: metrologicky zabezpečiť kvalitu merania v rámci používaných diagnostických metód - hlavne v rtg. diagnostike.

Dôležitú úlohu zohráva aj kalibrácia a overovanie dozimetrov a monitorov používaných v armáde SR a v civilnej ochrane štátu, ale aj na monitorovanie životného prostredia.

Väčšina uvedených meradiel, ktoré sú naväzované na NE rtg. žiarenia, resp. s jeho použitím overované, spadá do kategórie určených meradiel z dôvodu ochrany zdravia ľudí,

takže ekonomické zdôvodnenie potreby v prípade tohto etalónu je plne nahradené jeho spoločenskou potrebou.

Podľa údajov Centrálného registra zdrojov ionizujúceho žiarenia a Centrálného registra dávok pracovníkov so zdrojmi žiarenia je na Slovensku evidovaných vyše 2300 zdravotníckych röntgenových prístrojov, väčšinou klasických rádiodiagnostický a zubných rtg. zariadení, vyše 100 mamografov, vyše 30 mikroštruktúrnych rtg. prístrojov, vyše 20 terapeutických rtg. prístrojov a rýchlo pribúdajú aj tomografické rtg. zariadenia. Tieto prístroje a pracoviská sú kontrolované množstvom rôznych meradiel, ktorých počet a typy tiež každým rokom pribúda. Osobné dozimetre, ktorých je tiež viacero typov a ktorých tiež každým rokom pribúda, používa na Slovensku takmer 5 tisíc pracovníkov na pracoviskách s rizikom ionizujúceho žiarenia, pričom tieto údaje ešte nezahŕňajú zdroje ionizujúceho žiarenia na pracoviskách v pôsobnosti ministerstva vnútra, ministerstva obrany, v nápravno- výchovných ústavoch a v pôsobnosti ministerstva dopravy.

Súpis etalónového zariadenia, rozsahy prenášaných veličín a ich neistoty, popísané v tejto revíznej správe sú obmedzené len na dozimetrické veličiny podľa platného osvedčenia o národnom etalóne a príslušných certifikátov, aktualizované podľa aktuálneho stavu.

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

### **2.1 Základné princípy**

Problematika merania veličín ionizujúceho žiarenia v oblasti rtg. žiarenia je značne komplikovaná, pretože zdroje rtg. žiarenia vytvárajú rôznorodé spojité spektrá v celom rozsahu energií fotónov od jednotiek keV do niekoľko sto keV. Aby vôbec bolo možné vykonávať porovnateľné merania, boli zavedené určité doporučené kombinácie základných a doplnkových filtrácií počiatkových energetických spektier pre vybrané napätia na rtg. trubici, ktoré zabezpečujú rovnaké spektrálne rozloženie rtg. žiarenia, t.j. rovnakú kvalitu rtg. žiarenia. Boli medzinárodne zavedené referenčné hodnoty napätí na rtg. lampe a skupiny energetických filtrov, ktoré vytvárajú rovnaké vlastnosti a charakteristické rozloženie rtg. energetických spektier, označené ako série s charakteristickým označením. Tieto boli zverejnené a ich používanie bolo doporučené v medzinárodných normách ISO 4037 [10] a IEC 61267 [17], ktoré boli prevzaté do slovenskej sústavy technických noriem STN ISO 4037 [25-27] a STN IEC 61267 [17].

Etalóny v oblasti rtg. žiarenia sú vo svete bežnou súčasťou základného vybavenia laboratórií dozimetrie žiarenia gama, pretože séria úzkych spektier rtg. žiarenia podľa ISO 4037 tvorí základ pre určovanie energetickej závislosti dozimetrických prístrojov gama žiarenia.

Tieto etalóny sú postavené na základe kvalitného zdroja fotónov rtg. žiarenia, kvalitných energetických filtrov a kvalitnej primárnej alebo sekundárnej ionizačnej komory s kvalitným elektrometrom. Zdroj röntgenového žiarenia vytvára referenčné zväzky fotónov röntgenového žiarenia, potrebné na prenos jednotky na etalóny nižších rádov a pracovné meradlá. Podobným spôsobom sú vybudované etalóny kermy a dávkových ekvivalentov rtg. žiarenia v renomovaných zahraničných metrologických pracoviskách ako napr. v PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) Braunschweig v Nemecku, s rozdielom, že u nich sa využívajú na meranie primárne ionizačné komory. Aj metrologické pracoviská v Maďarsku, v Rakúsku, i v Českej republike vlastnia a používajú primárnu vzduchovú ionizačnú komoru.

Národný etalón kermy a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov však bol z úsporných dôvodov vybudovaný len ako sekundárny etalón.

Z dôvodov nahradenia archaického označenia rtg. žiarenia ako žiarenia X v názve etalónu, ako tiež skrátenia názvu etalónu sa „Národný etalón kermy a dávkového ekvivalentu

žiarenia X a ich príkonov“ v roku 2004 v rámci revízie tohto etalónu premenoval na „Národný etalón rtg. žiarenia“.

Základom Národného etalónu rtg. žiarenia sú referenčné zväzky fotónov rtg. žiarenia produkované vysokostabilným zdrojom rtg. žiarenia a sadami kvalitných prídavných filtrov, a etalónové meracie zariadenie, ktorého základom je sada kvalitných sekundárnych ionizačných komôr, prostredníctvom ktorých bol náš národný etalón priamo nadviazaný na viacero primárnych etalónov, napr. na primárny etalón Maďarska v OMH, primárny etalón Nemecka v PTB Braunschweigu, primárny etalón Rakúska v BEV.

Etalónové ionizačné komory slúžia na priame stanovenie veličiny kerma vo vzduchu.

Veličiny priestorový dávkový ekvivalent ako aj osobný dávkový ekvivalent (pre vybranú hĺbku) sú odvádzané z veličiny kerma vo vzduchu s použitím príslušného konverzného faktora uvedeného v príslušných medzinárodných odporúčaniach a technických normách, ktoré boli prevzaté aj do STN (STN ISO 4037-1 až 3 [25 až 27]), za dodržania príslušných podmienok ožarovania (s použitím určeného fantóma atď.).

Všeobecné termíny používané v metrologii sú definované v STN 01 0115 [20], základné veličiny sú definované v STN ISO 31-0 až 13 [21 až 23].

Pre oblasť ochrany zdravia pred žiarením a meraní v oblasti kvalít rtg. žiarenia však museli byť definované špeciálne veličiny a tiež špeciálne termíny v norme STN ISO 1310 [24] a v ďalších normách týkajúcich sa rtg. žiarenia a jeho meradiel [25 až 34].

Pre lepšie pochopenie súvislostí uvádzame definície veličín, ktoré sú reprodukované národným etalónom rtg. žiarenia, resp. sú od neho odvodené, ako aj špeciálne pojmy, ktoré sa pri ich definovaní používajú:

**Kerma ( $K$ )** je definovaná ako podiel súčtu počiatočných kinetických energií ( $dE_K$ ) všetkých nabitých častíc, uvoľnených nenabitými ionizujúcimi časticami v uvažovanej látke, a hmotnosti ( $dm$ ) tejto látky

$$K = \frac{dE_K}{dm}$$

**Príkon kermy ( $\dot{K}$ )** je definovaný ako podiel prírastku kermy ( $dK$ ) v časovom intervale ( $dt$ ) a tohto časového intervalu ( $dt$ ):

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

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

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

**Dávkový ekvivalent ( $H$ )** je definovaný ako súčin absorbovanej dávky ( $D$ ) v uvažovanom bode tkaniva, činiteľa kvality ( $Q$ ) v tomto bode a súčinu ostatných modifikujúcich činiteľov ( $N$ ):

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

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

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

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

Absorbovaná **dávka (D)** je v danom bode určená podielom strednej odovzdanej energie ( $d\varepsilon$ ), odovzdanej ionizujúcim žiarením danej látky, a hmotnosti ( $dm$ ) tejto látky:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

kde odovzdaná energia ( $\varepsilon$ ) je definovaná vzťahom:

$$\varepsilon = (R_{\text{in}} - R_{\text{ex}}) + (Q_{\text{in}} - Q_{\text{ex}})$$

t.j. ako súčet rozdielov ( $R_{\text{in}} - R_{\text{ex}}$ ) a ( $Q_{\text{in}} - Q_{\text{ex}}$ ), kde  $R$  sú vyžiarené energie všetkých nabitých i nenabitých ionizujúcich častíc, ktoré do látky v danom priestore (telese) vstúpili ( $R_{\text{in}}$ ) a ktoré ju opustili ( $R_{\text{ex}}$ ),  $Q_{\text{in}}$  je úbytok a  $Q_{\text{ex}}$  prírastok klúdových energií jadier a elementárnych častíc pri akejkol'vek jadrovej premene, ku ktorej v danom priestore došlo.

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

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

Činiteľ kvality ( $N$ ) 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 ICRP 26 [5]. Pre súčin ostatných modifikujúcich činiteľov sa pre vonkajšie žiarenie berie hodnota rovná 1.

Medzinárodná komisia pre rádiologickú ochranu ICRP (International Commission on Radiological Protection) doporučila 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 merateľný a musí byť určený na základe dávkového ekvivalentu v primeranom mieste vhodného fantómu. Ako najvhodnejší fantóm bola vybratá ICRU sféra [6], z praktických dôvodov však bolo pripustené aj používanie ďalších druhov fantómov [10].

Pre vonkajšie zdroje žiarenia Medzinárodná komisia pre radiačné veličiny ICRU [7] definovala veličiny, ktoré uľahčujú určenie dávkového ekvivalentu, ktorý doporučuje ICRP [5]. Tieto veličiny boli určené pre praktické merania pri priestorovom a osobnom monitorovaní. Sú definované na základe dávkového ekvivalentu vo vhodnom bode fantómu. Závisia od typu a energie žiarenia. Pre prenikavé ionizujúce žiarenie, sú to priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$ , smerový dávkový ekvivalent  $H'(d, \vec{\Omega})$  a osobný dávkový ekvivalent  $H_p(d)$ .

**Priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(d)$**  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.

**Smerový dávkový ekvivalent  $H'(d, \vec{\Omega})$**  v definovanom bode radiačného poľa, je dávkový ekvivalent, ktorý by mal byť vytvorený v zodpovedajúcom rozšírenom poli, v ICRU sfére v hĺbke  $d$  na polomere v špecifikovanom smere  $\vec{\Omega}$ .

**Osobný dávkový ekvivalent  $H_p(d)$**  je dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive, vo vhodnej hĺbke  $d$  pod presne určeným bodom na tele.

Pre silno prenikavé ionizujúce žiarenie je doporučená hĺbka  $d = 10$  mm a pre slabo prenikavé ionizujúce žiarenie je doporučená hĺbka  $d = 0,07$  mm.

Stanovenie uvedených dávkových ekvivalentov je možné i priamo z kerry vo vzduchu na základe prevodných koeficientov uvedených v ICRP [11], resp. v ISO 4037-1 až 3 [10, 25-27] podľa vzťahu:

$$H = h_K \cdot K_a$$

kde  $h_K$  je vybraný koeficient pre hľadanú veličinu  $H$  pre danú energiu, hĺbku a smer žiarenia.

Vzhľadom na to, že prakticky nie je možné vyprodukovať monoenergetické rtg. žiarenie, pretože každé rtg. žiarenie je vlastne spojité spektrum fotónov s rôznym pomerom fotónov s rôznou energiou od takmer nulovej až po maximálnu, danú napätím na rtg. lampe, pre praktické potreby a porovnávanie boli vytvorené tabuľky rtg. žiarení vybraných charakteristických kvalít, ktoré boli prevzaté aj do sústavy STN [10]. Vlastnosti samotných zväzkov rtg. žiarenia sú teda dané nielen pracovným napätím na rtg. lampe ( $U_{pr}$ ) a materiálom terčika, ale aj materiálmi okienka, cez ktoré vychádza rtg. žiarenie a ostatných materiálov prostredia, cez ktoré prejde, kým dôjde do meraného bodu. Vlastnosti rtg. žiarenia sú charakterizované predovšetkým tvarom rozloženia energetického spektra (charakteristické série spektier podľa ISO 4037), strednou energiou rtg. žiarenia ( $\bar{E}$ ) a prvou a druhou polhrúbkou (1.HVL a 2.HVL) určitého referenčného materiálu pohlcujúceho rtg. žiarenie.

**Stredná energia rtg. žiarenia ( $\bar{E}$ )** je hodnota energie monoenergetického rtg. žiarenia, ktoré by malo má rovnakú 1.HVL ako popisované spektrum energií.

**Prvá polhrúbka (1.HVL)** je hrúbka určitého materiálu ktorá zoslabí zväzok fotónov rtg. žiarenia natoľko, že príkon kerry vo vzduchu je redukovaný na polovicu pôvodnej hodnoty. **Druhá polhrúbka (2.HVL)** je hrúbka určitého materiálu ktorá zoslabí zväzok fotónov rtg. žiarenia natoľko, že príkon kerry vo vzduchu je redukovaný na štvrtinu pôvodnej hodnoty.

Keďže národný etalón rtg., ktorý je vybudovaný v SMU, je založený na princípe sekundárneho etalónu, jeho metrologická úroveň a nadväznosť je zabezpečená nadviazaním na etalón vyššieho rádu, spravidla primárne etalóny, prostredníctvom kalibrácie etalónových meradiel (zostavy etalónových ionizačných komôr s príslušnými elektrometrami), ktoré sú kalibrované na meranie daným etalónom reprodukovanej veličiny, t.j. kerry vo vzduchu. Dátumy a identifikácie konkrétnych nadviazaní (kalibrácií) jednotlivých meradiel národného etalónu sú uvedené v ďalšom texte. Frekvencia kalibrácií je určená podľa významnosti, dlhodobej stability a frekvencie používania príslušného meradla, spravidla je to raz za dva alebo tri roky a je plánovaná v súlade s pravidlami uchovávanía a plánom kalibrácií. V prípade, že sa etalónové meradlo nepoužíva dlhšie ako je minimálny čas pre rekalibráciu, kalibruje sa najneskôr tesne pred jeho opätovným použitím. V období medzi dvoma kalibráciami sa kontroluje, zvlášť v prípade podozrenia na zmenu citlivosti, dlhodobá stabilita odozvy etalónových meradiel.

Kvalita zväzkov fotónov rtg. žiarenia závisí od kvality zdroja rtg. žiarenia a od kvality doplnkovej filtrácie primárneho zväzku. Nestability v toku rtg. žiarenia sú kompenzované princípom relatívneho merania voči transmisnej ionizačnej komore. Odozvu ionizačných komôr na fotóny rtg. žiarenia predstavuje náboj, alebo prúd (v rozsahu od  $10^{-15}$  A), ktoré sa merajú špeciálnym elektrometrom s vysokým vstupným odporom. Ako súčasť NE bol pri jeho vyhlásení použitý elektrometer „dpi 02“ vlastnej výroby, ktorý bol neskôr nahradený

komerčným elektrometrom špičkových kvalít od renomovaného výrobcu Keithley typ 6517A a pri revízii NE v roku 2004 bol elektrometer „dpi 02“ vyradený zo zostavy NE.

Fyzikálny princíp ako i spôsob merania kerry vo vzduchu pomocou ionizačných komôr je uvedený napr. v učebnici J. Šeda a kol.: Dozimetrie ionizujúciho záření [16]. Schematické znázornenie merania substitučnou metódou s použitím transmisnej monitorovacej komory, ktorá je nami používaná, je uvedené na obrázku č. 1. Pri použití do vzduchu otvorených ionizačných komôr, ak sa merania nevykonávajú za referenčných podmienok okolia (viď tabuľka č. 1), čo je predovšetkým u atmosférického tlaku ťažko dosiahnuteľné, je navyše nevyhnutné korigovať meraný prúd na rozdiel tlaku a teploty prostredia voči referenčným hodnotám.

Tabuľka 1: Referenčné podmienky a normálne skúšobné podmienky okolitého prostredia (podľa STN ISO 4037-3 [27])

ovplyvňujúca veličina	referenčné podmienky	normálne skúšobné podmienky (ak nie je uvedené inak)
teplota okolia	20 °C	18 °C až 22 °C <sup>a)</sup>
relatívna vlhkosť	65 %	50 % až 75 % <sup>a)</sup>
atmosférický tlak	101,3 kPa	86 kPa až 106 kPa

Postup merania stanovenia kalibračného faktoru príkonu kerry neznámej ionizačnej komory možno popísať v niekoľkých krokoch:

Referenčná a neznáma ionizačná komora sa umiestnia do stojanov na vozík meracej lavice do referenčnej vzdialenosti od ohniska zdroja referenčného zväzku rtg. žiarenia tak, aby ich efektívne stredu boli v rovnakej výške ako os zväzku. Vzdialenosť medzi nimi sa nastaví tak, aby vzdialenosť krajných bodov medzi nimi bola väčšia, ako je polovica predpokladanej šírky zväzku v danej vzdialenosti od zdroja žiarenia. Pričným pohybom vozíka sa nastaví poloha referenčnej komory pomocou laserového lúča do osi zväzku.

Pomocou kolimačných clôn sa nastaví požadovaná šírka zväzku tak, aby celá ionizačná komora ležala v homogénnej časti zväzku a zároveň aby bol zväzok čo najužší, čím sa minimalizuje vplyv rozptýlených častíc.

Nastavia sa požadované hodnoty vysokého napätia a prúd rtg. lampy a požadovaná doplnková filtrácia.

Otvorí sa uzávierka zväzku a súčasne sa zmerajú prúdy (resp. kumulovaný náboj za vybraný časový interval) referenčnej ( $I_R$ ) a transmisnej ( $I_{TR}$ ) ionizačnej komory.

Posunom vozíka sa nastaví neznáma ionizačná komora do stredu zväzku.

Zmerajú sa prúdy (resp. kumulovaný náboj za rovnaký časový interval ako u referenčnej komory) neznámej ionizačnej komory ( $I_K$ ) a transmisnej ( $I_T$ ) komory.

Výsledná hodnota kalibračnej konštanty ( $N_K$ ) neznámej ionizačnej komory sa vypočíta podľa nasledovného vzťahu:

$$N_K = \frac{I_R}{I_{TR}} * \frac{I_{TK}}{I_K} * N_R ,$$

kde  $N_R$  je kalibračná konštanta referenčnej ionizačnej komory.

V prípade merania kumulovaného náboja ( $Q$ ) za vybraný časový interval ( $T$ ) sa vypočíta prúd ( $I$ ) príslušnej komory ako podiel kumulovaného náboja za príslušný časový interval:

$$I = Q / T$$



## 2.2 Prístrojová zostava NE rtg. žiarenia

### 2.2.1 Súčasti etalónu ku dňu vyhlásenia

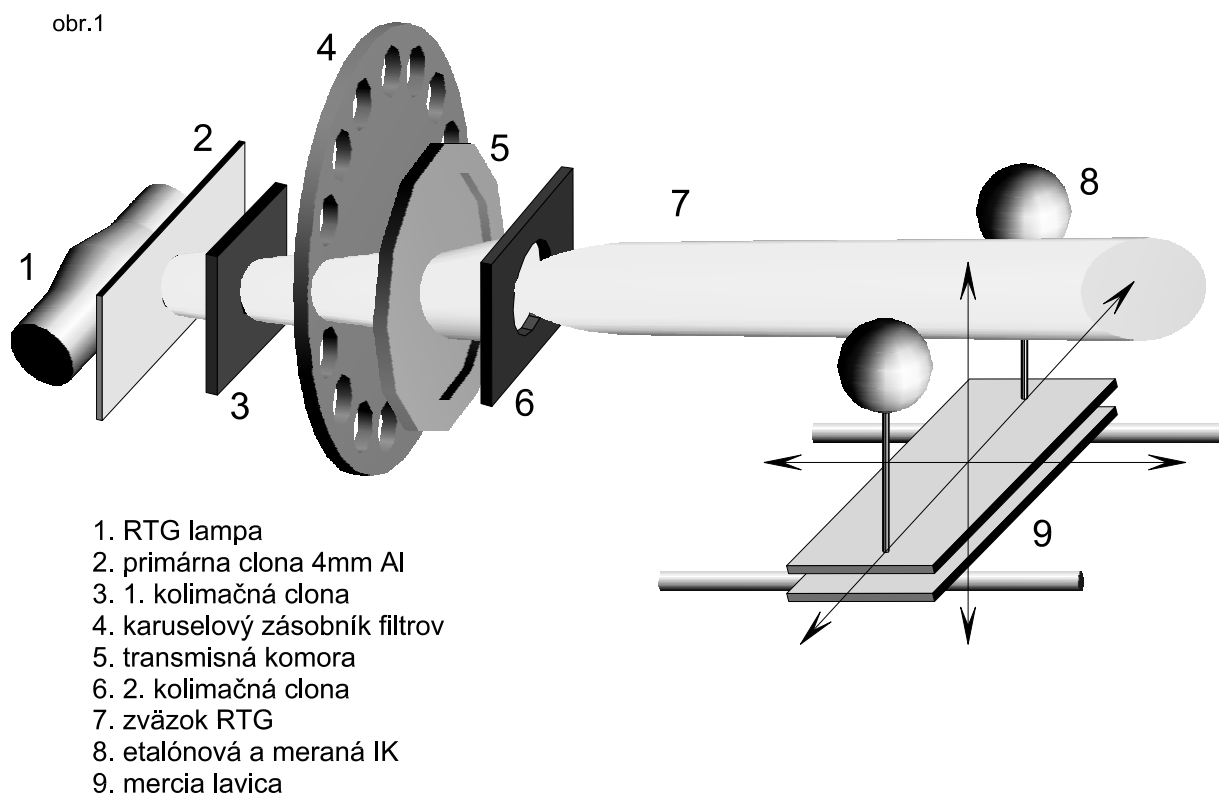
Národný etalón rtg. žiarenia je zostavený z nasledovných zariadení :

- zariadenie zdroja referenčných zväzkov rtg. žiarenia;
- etalónové meracie zariadenie;
- pomocné meradlá a zariadenia;

Schematické zobrazenie zostavy národného etalónu rtg. žiarenia s etalónovým a nadväzovaným meradlom je znázornené na obrázku č. 1.

Obrázok 1: Schematické zobrazenie zostavy NE rtg. žiarenia

Zdrojom referenčných zväzkov fotónov NE rtg. žiarenia je vysokostabilný zdroj rtg. žiarenia s kontinuálnym vyžarovaním. Požadované kvality rtg. spektier sú dosahované pomocou sady energetických filtrov z vysokočistých materiálov. Referenčný bod zväzku zabezpečuje kalibračná lavica s diaľkovo ovládateľným posuvom vo všetkých troch osiach. Etalónové meracie zariadenie pozostáva zo sady ionizačných komôr a elektrometrov. Pomocné meradlá slúžia na meranie vzdialenosti referenčného bodu meradiel od referenčného bodu zdroja rtg. žiarenia a okolitých podmienok (dĺžka, tlak, teplota). Pomocné zariadenia slúžia na uľahčenie nastavenia meradiel do referenčného bodu, presnejšiu reprodukciu meraní, zaznamenávanie nameraných dát a vyhodnocovanie meraní. Zabezpečovacie zariadenia slúžia na zabezpečenie ochrany zdravia pred ionizujúcim žiarením.



Konkrétny rozpis jednotlivých zariadení, vrátane ich technických parametrov, je uvedený v nasledujúcich článkoch.

### 2.2.1.1 Zdroj referenčných zväzkov rtg. žiarenia

#### 2.2.1.1.1 Popis a technické parametre jednotlivých častí zdroja rtg. žiarenia

Zdrojom referenčného rtg. žiarenia NE rtg. žiarenia je vysoko stabilný rtg. systém Philips typ MG 324 (výr. č.: 9421), ktorého hlavnými časťami sú: zdroj vysokého napätia (VN zdroj) tvorený dvoma generátormi vysoko stabilného vysokého napätia Philips (-160 kV, výr. č. A092.206.00024 a +160 kV, výr. č. 90.403.010), olejom chladená rtg. lampa Philips model MCN 321 (výr. č. 890012) a ovládacie zariadenie MGC 30 (výr. č. 9421).

Ďalšími časťami zdroja referenčného rtg. žiarenia sú: kalibračný stojan typ 3502 z PTW Freiburg s ochranným krytom rtg. lampy, otočnou clonou, párom kolimátorov, karuselom s prídavnými filtrami a monitorovacou transmisnou komorou (viď obrázok č. 1).

#### 2.2.1.1.2 Technické parametre rtg. zdroja

Typ rtg. systému, výrobca:	MG 324, Philips
Výrobné č.:	9421
Maximálne napätie rtg. lampy:	320 kV
Maximálny príkon:	3,2 kW
Základná filtrácia:	4 mm Be
Zabudovaný vlastný (vyberateľný) filter:	3 mm Al
prvá polhrúbka pri 320 kV (bez Al filtra):	0,2 mm Al
prvá polhrúbka pri 320 kV (s Al filtrom):	17,5 mm Al
max. príkon kermy pri uzavretej clone vo vzdialenosti 1m:	<10 mGy/h
Rozsah nastavenia VN:	14 kV až 320 kV s rozlíšením 0,1 kV
Presnosť nastavenia VN:	± 1,3% z nastavenej hodnoty
Zvlnenie VN:	< 0,05% z nastavenej hodnoty
Stabilita VN:	± 0,2% z nastavenej hodnoty
Reprodukovateľnosť nastavenia VN:	± 0,2% z nastavenej hodnoty

Rozsah nastavenia prúdu:	0,05 mA až 22,5 mA s rozlíšením 0,01 mA
Presnosť nastavenia prúdu:	± 0,3% z nastavenej hodnoty
Stabilita prúdu:	± 0,2% z nastavenej hodnoty
Reprodukovateľnosť nastavenia prúdu:	± 0,2% z nastavenej hodnoty

Pozn.: Uvedené hodnoty sú prevzaté z originálu technickej literatúry výrobcu k zariadeniu, experimentálne premeranie ich hodnoty potvrdilo.

Tabuľka 2: Typické príkony priestorového dávkového ekvivalentu vo vzdialenosti 200 mm od ohniska rtg. zdroja (podľa technickej dokumentácie výrobcu)

napätie	prúd	Dávkový príkon (bez prídavného filtra)	Dávkový príkon (s 3 mm Al filtrom)
[kV]	[mA]	[Sv/h]	[Sv/h]
100	10	3060	144
200	10	3600	486
300	10	3960	1044
320	10	4200	1146

Tabuľka 3: Maximálne prípustné pracovné prúdy rtg. lampy (podľa technickej dokumentácie výrobcu)

Maximálne prípustné pracovné prúdy rtg. lampy pre štandardné vlákno (3.2kW) a pre jemné vlákno (0,96 kW)	napätie	štandardné vlákno <sup>1)</sup>	jemné vlákno
	[kV]	[mA]	[mA]
	32	31,0	10
	40	34,0	12
	50	40,0	12
	80	40,0	12
	100	32,0	10
	150	21,0	6,5
	200	16,0	4,7
	250	12,0	3,8
	300	10,5	3,3
	320	10,0	3,0

<sup>1)</sup>Poznámka: V skutočnosti je maximálny prúd štandardného vlákna je zhora obmedzený parametrami VN zdroja na max. 22,5 mA.

#### 2.2.1.1.3 Ochranný kryt rtg. lampy

Špeciálny ochranný kryt z olovených platní s hrúbkou 10 mm, v ktorom je rtg. lampa uložená, zabezpečuje minimalizáciu rozptýlených častíc mimo centrálny zväzok. V kryte je umiestnená diaľkovo ovládaná otočná olovená clona, ktorá zabezpečuje rýchle zatienenie, alebo uvoľnenie zväzku fotónov pre predvolený čas expozície. Valcová clona je špeciálne tvarovaná a otáča sa jedným smerom tak, aby umožnila rovnomerné ožiarenie celého ožarovaného meradla v celom priečnom priereze rtg. zväzku.

#### 2.2.1.1.4 Kolimátor

Zväzok rtg. žiarenia je tvarovaný pomocou kolimátorov, ktoré pozostávajú z páru clôn z olovenej dosky hrúbky 4 mm s mosadznými platňami hrúbky 2 mm na oboch jej povrchoch. Jednotlivé clony majú kruhový otvor nasledujúcich priemerov:

Clona 1 B3-20 priemer otvoru:	13 mm
Clona 2 B4-20 priemer otvoru:	16 mm
Clona 3 B3-40 priemer otvoru:	25 mm
Clona 4 B4-40 priemer otvoru:	30 mm
Clona 5 B3-80 priemer otvoru:	48 mm
Clona 6 B4-80 priemer otvoru:	60 mm

Clony sú umiestnené v pároch (B3-20 a B4-20, B3-40 s B4-40 a B3-80 s B4-80) tak, aby bola dosiahnutá čo najostrejšia hrana zväzku. Pomocou nich je možné nastaviť tri šírky zväzku.

#### 2.2.1.1.5 Karusel

Otáčavý karusel umožňuje umiestnenie sady 15 energetických filtrov pre prídavnú filtráciu a diaľkové ovládanie nastavenia zvoleného filtra do osi zväzku. Filtre sú umiestnené v kruhovom zásobníku so 16 pozíciami (15 filtrov + prázdna pozícia) s možnosťou rýchlej výmeny náhradného kotúča pre ďalšiu sadu filtrov. V súčasnosti disponujeme dvoma takýmito karuselmi, v ktorých sú uložené príslušné filtre.

### 2.2.1.1.6 Sady energetických filtrov

V súčasnosti máme zostavené energetické filtre prídavnej filtrácie rtg. žiarenia pre takmer všetky kvality sérií úzkych spektier a širokých spektier rtg. žiarenia a série nízkych príkonov kermy rtg. žiarenia podľa STN ISO 4037-1 [10] (ich kompletný zoznam je uvedený v tabuľke č. 4).

Uvedené filtre majú tvar kotúča s priemerom 89 mm a hrúbku podľa tabuľky č. 4 a sú zostavené z energetických filtrov rtg. žiarenia značky Goodfellow vyrobených z homogénnych veľmi čistých materiálov (99,999 % čisté Al pre nastavenie inherentnej filtrácie a 99,99 % čisté Cu, Pb a Sn pre nastavenie doplnkovej filtrácie) s hrúbkami od 0,21 mm do 5,0 mm s maximálnou odchýlkou 5 % od deklarovanej hrúbky (výrobca Goodfellow Cambridge Limited, Anglicko). Podľa deklarácie výrobcu čistota materiálu a hrúbky filtrov vyhovujú podmienkam STN ISO 4037-1 [25].

Tabuľka 4: Zoznam energetických filtrov pre doplnkovú filtráciu rtg. žiarenia

séria úzkych spektier			
označenie spektra	Pb	Sn	Cu
$U_{rtg}$ [kV]	[mm]	[mm]	[mm]
N 40	-	-	0,21
N 60	-	-	0,6
N 80	-	-	2,0
N 100	-	-	5,0
N 120	-	1,0	5,0
N 150	-	2,5	-
N 200	1,0	3,0	2,0
N 250	3,0	2,0	-
N 300	5,0	3,0	-

Pozn.: Celková filtrácia sa skladá z inherentnej filtrácie nastavenej na 4 mm Al a doplnkovej filtrácie podľa vyššie uvedenej tabuľky.

### 2.2.1.2 Etalónové ionizačné komory

#### 2.2.1.2.1 Ionizačná komora OMH typ ND1001

##### 2.2.1.2.1.1 Popis komory

vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora

označenie, typ: ionizačná komora OMH, ND1001

výrobca: OMH, Maďarsko

výrobné číslo: 7821

objem: 20 cm<sup>3</sup>

##### 2.2.1.2.1.2 Kalibrácia

Dátum: 13.09.1995

Laboratórium: PTB, Braunschweig, Nemecko

Číslo kalibračného listu: bez čísla

Rozsah kalibrácie: ISO 4037 Narrow Spectrum, S-Cs, S-Co

Dátum: 23.04.1998

Laboratórium: OMH, Maďarsko

Číslo kalibračného listu: 01/98  
Rozsah kalibrácie: ISO 4037 Narrow Spectrum, S-Cs, S-Co  
*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

#### 2.2.1.2.1.3 Metrologické parametre

Rozsah merania: 1 mGy/h ÷ 5 Gy/h  
Rozšírená neistota: ±1,1 % pre interval spoľahlivosti 92%  
(údaj uvedený v certifikáte o kalibrácii)

#### 2.2.1.2.1.4 Medzinárodné porovnania

1. SÚRO Praha, ČR, Primárny etalón, máj 1997 – K<sub>a</sub>, Narrow spectrum
2. BEV Rakúsko, Primárny etalón, október 1997 - K<sub>a</sub>, Narrow spectrum
3. OMH Maďarsko, Primárny etalón, apríl 1998 - K<sub>a</sub>, Narrow spectrum

### 2.2.1.2.2 Ionizačná komora OMH typ ND1000

#### 2.2.1.2.2.1 Popis komory

vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora  
označenie, typ: ionizačná komora OMH, ND1000  
výrobca: OMH, Maďarsko  
výrobné číslo: 8115  
objem: 1000 cm<sup>3</sup>

#### 2.2.1.2.2.2 Kalibrácia

Dátum: 15.09.1995  
Laboratórium: PTB, Braunschweig, Nemecko  
Číslo kalibračného listu: bez čísla.  
Rozsah kalibrácie: ISO 4037 Narrow Spectrum, S-Cs, S-Co

Dátum: 05.09.2001  
Laboratórium: OMH, Maďarsko  
Číslo kalibračného listu: 003/2001  
Rozsah kalibrácie: S-Cs, S-Co

Dátum: 14.02.2005  
Laboratórium: OMH, Maďarsko  
Číslo kalibračného listu: 0002/2005  
Rozsah kalibrácie: S-Cs, S-Co

Dátum: 22.5.2009  
Laboratórium: SMU, SR  
Číslo kalibračného listu: 037/250/44/09  
Rozsah kalibrácie: S-Cs

#### 2.2.1.2.2.3 Metrologické parametre

Rozsah merania: 10 µGy/h ÷ 50 mGy/h  
Rozšírená neistota: ±1,1 % pre interval spoľahlivosti 92%  
(údaj uvedený v certifikáte o kalibrácii)

#### 2.2.1.2.2.4 Medzinárodné porovnanie

1. OMH Maďarsko, Primárny etalón, apríl 1998, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co

### 2.2.1.2.3 Ionizačná komora Capintec typ PR-18

#### 2.2.1.2.3.1 Popis komory

vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora  
označenie, typ: Capintec, PR-18  
výrobca: Capintec, USA  
výrobné číslo: CII 1.89041  
objem: 1800 cm<sup>3</sup>

#### 2.2.1.2.3.2 Kalibrácia

Dátum: 27.06.1996  
Laboratórium: Capintec  
Číslo kalibračného listu: bez čísla.  
Rozsah kalibrácie: 69 ÷ 250 keV

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

#### 2.2.1.2.3.3 Metrologické parametre

Rozsah merania: 1 µGy/h ÷ 10 mGy/h  
Kombinovaná štandardná neistota: ± 2 % (údaj uvedený v certifikáte o kalibrácii)

### 2.2.1.2.4 Ionizačná komora EXRADIN typ A4

#### 2.2.1.2.4.1 Popis komory

Vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora  
označenie, typ: EXRADIN, A4-97  
výrobca: EXRADIN, Inc., USA  
výrobné číslo: 270  
objem: 30 cm<sup>3</sup>

#### 2.2.1.2.4.2 Metrologické parametre

Rozsah merania: 1 mGy/h ÷ 5 Gy/h  
Rozšírená neistota: 1,9 % pre k=2 (pre fotóny <sup>137</sup>Cs)

#### 2.2.1.2.4.3 Kalibrácie

Dátum: 23.04.1998  
Laboratórium: OMH, Budapest  
Číslo kalibračného listu: 128/98  
Rozsah kalibrácie: <sup>137</sup>Cs

Dátum: november 2001  
Laboratórium: BEV, Rakúsko  
Číslo kalibračného listu: T01-1241  
Rozsah kalibrácie: <sup>137</sup>Cs a série rtg. žiarenia s nasledujúcimi kvalitami (podľa ISO 4037, CCRI a IEC 61267): úzke spektrá, široké spektrá, vysoké príkony kermu vo vzduchu, CCRI, RQA a RQR

Dátum: 26.4.2004

Laboratórium: SMU, SR  
Číslo kalibračného listu: 387/250/44/04  
Rozsah kalibrácie: S-Cs

Dátum: 26.6.2007  
Laboratórium: SMU, SR  
Číslo kalibračného listu: 133/250/44/07  
Rozsah kalibrácie: S-Cs

Dátum: 06.9.2010  
Laboratórium: SMU, SR  
Číslo kalibračného listu: 354/250/44/10  
Rozsah kalibrácie: S-Cs

### 2.2.1.3 Etalónové meradlá ionizačného prúdu, resp. náboja

#### 2.2.1.3.1 Elektrometer DPI 02 so sadou kapacitných normálov

##### 2.2.1.3.1.1 Popis elektrometra

DPI-02 je digitálny prúdový integrátor s elektrometrickým operačným zosilňovačom s veľmi vysokým vstupným odporom  $>10^{14} \Omega$ , vyrobený vlastnými silami v SMU. Špeciálnym kompenzačným obvodom sa podarilo znížiť typický vlastný zvodový prúd až na úroveň  $< 2 \times 10^{-15} \text{ A}$ . Meraný signál je zosilnený na úroveň  $\pm 2,048 \text{ V}$ . Prevod do digitálnej formy sa vykoná integrovaným 12 bit. A/D prevodníkom. Vzorkovacia frekvencia v manuálnom režime je odvodená od kryštálu 1 MHz. V automatickom režime je odvodená od taktovacej frekvencie nadriadeného počítača. Ako integračný kondenzátor je použitých päť normálových kapacít od 100 pF po 1  $\mu\text{F}$ .

##### 2.2.1.3.1.2 Kalibrácia

Kalibrácia sa vykonávala súčasne s kapacitnými normálmi v SMU. Kalibračná konštanta je zahrnutá do kalibračnej konštanty kapacitných normálov. Kalibrácia je vykonaná pomocou kalibrátora Keithley 263 následne po jeho overení. Posledná kalibrácia vykonaná v zahraničí bola uskutočnená v 15.9.1995 v PTB v Nemecku pre rozsahy 100 pF, 1 nF, 10 nF, 100 nF a 1  $\mu\text{F}$ .

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

##### 2.2.1.3.1.3 Popis elektrometra

Označenie, typ: Digitálny prúdový integrátor, DPI 02  
Výrobca: SMÚ  
Výrobné číslo: 90/1  
Rozsah voltmetra:  $\pm 2,048 \text{ V} \pm 0,001 \text{ V}$   
Kapacitný normál: 5 ks (100 pF, 1 nF, 10 nF, 100 nF, 1  $\mu\text{F}$ )

##### 2.2.1.3.1.4 Metrologické parametre

###### Rozsah hodnôt kapacitných normálov elektrometra

V tabuľke č. 5 sú uvedené parametre použitých normálov kapacity v spojení s elektrometrom dpi-02.

Tabuľka 5: Hodnoty normálov kapacity

Označenie	9101-1	9101-2	9101-3	9101-4	9101-5
$C_{\text{nominálna}}$	100 pF	1 nF	10 nF	100 nF	1 $\mu$ F
$C_{\text{skutočná}}$	99,76	1,012	9,738	108,7	1,020
$u(C_{\text{skutočná}}) <$	0,10 %	0,10 %	0,10 %	0,10 %	0,10 %

#### Pracovný rozsah merania náboja

Rozsah merania náboja:  $\pm 10 \text{ nC}$  až  $2 \text{ } \mu\text{C}$

Kombinovaná štandardná neistota:  $\pm 0,3 \%$

#### Dlhodobá stabilita

Dlhodobá stabilita je sledovaná od roku 1994. Kapacitné normály boli kalibrované v PTB. Ich stabilita je lepšia ako 0,2 % z nominálnej hodnoty kondenzátora. Konkrétne hodnoty sú uvedené v Čiastkovej správe z výskumnej úlohy č. 200 029/96 [1].

### 2.2.1.4 Pomocné meradlá a zariadenia

#### 2.2.1.4.1 Monitorovacia komora

Ako monitorovacia komora je použitá transmisná planparalelná ionizačná komora PTW typ 786, výr. č. 0117, výrobca PTW Freiburg, s priemerom 150 mm umiestnená medzi dvomi kolimačnými clonami tak, aby cez ňu prechádzal celý zväzok (viď obrázok č. 1).

Na základe nameraných výsledkov boli pomocou lineárnej regresie určené kalibračné konštanty transmisnej komory vo vzdialenosti 1m, pričom platí:

$$(8.3) \quad \dot{K} = k_{\text{TK}} \cdot I_t$$

kde:  $\dot{K}$  je kermový príkon fotónov vo vzduchu [mGy/h],

$k_{\text{TK}}$  je kalibračný koeficient,

$I_t$  je prúd rtg. lampou [mA]

Tabuľka 6: Hodnoty kalibračných koeficientov monitorovacej komory

Stredná energia	33keV	48keV	65keV	83keV	100keV	118keV	164keV	248keV
$k_{\text{TK}}$ [mGy/pA]	0,02	0,621	0,658	0,633	0,67	0,777	0,568	0,307
$U_c(x)$ [%]	15	0,8	2,4	5,2	6	0,8	2,8	3,2
korelácia	0,951	1	0,998	0,991	0,988	1	0,998	0,997

Z tabuľky č. 6 je zrejмый široký rozptyl neistôt, ktorý je zapríčinený konfiguráciou merania. Na meranie bol používaný 3.5 miestny nanoampérmeter DPI-02 s rozlišovacou schopnosťou 1 pA. V súčasnosti je nahradený elektrometrom Keithley typu 6517A, ktorým sa meria celkový náboj vytvorený v ionizačnej komore počas nastaveného času ožarovania, ktorý vernejšie odráža celkovú hodnotu dávky, ktorou bola počas ožarovania ožiarená etalónová ionizačná komora, resp. porovnávané meradlo. Z takto nameraných hodnôt vypočítaná hodnota priemerného ionizačného prúdu počas času ožarovania je tiež presnejšie, ako priamo odčítaná okamžitá hodnota ionizačného prúdu meraná nanoampérmetrom. Samotné údaje z transmisnej komory však slúžia len ako indikátor stavu zväzku na relatívne korekcie kolísania prúdu a teda príkonu kermy počas ožarovania etalónovej ionizačnej komory a porovnávaného meradla pri použití substitučnej metódy. Absolútne hodnoty príkonu kermy vo vzduchu na základe hodnôt nameraných monitorovacou komorou slúžia len ako orientačné údaje pri nastavovaní parametrov.



#### 2.2.1.4.2 Ampérmeter na meranie prúdu transmisnej komory

Pri vyhlásení NE na meranie prúdu transmisnou komorou slúžil digitálny ampérmeter Keithley, 480 Pikometer:

Názov, typ: Keithley, 480 Pikometer

výrobné číslo: 13312

Merací rozsah: 1 pA ÷ 1 mA

Trieda presnosti: 0,1

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

#### 2.2.1.4.3 Meracia lavica

Meracia lavica typ L5600X od výrobcu MTT (Meracia technika – Technocentrum) zabezpečuje reprodukciu nastavenia polohy etalónovej ionizačnej komory a skúšaného meradla do referenčného skúšobného bodu zväzku, pričom umožňuje manuálne aj diaľkové ovládanie a nastavovanie polohy vo zväzku v troch osiach s krokom 0,1 mm:

- paralelne s osou zväzku v dĺžke 5500 mm. ± 0,1 mm;
- kolmo na os zväzku vo vodorovnom smere v dĺžke 900 mm ± 0,1 mm;
- kolmo na os zväzku vo zvislom smere v dĺžke 300 mm ± 0,1 mm.

Lavica je ovládaná diaľkovo za pomoci originálneho softwaru VF\_MZRS v riadiacom IBM kompatibilnom osobnom počítači s operačným systémom Windows 95, s ktorým je prepojená príslušným komunikačným káblom. Pracovný vozík meracej lavice má nosnosť 50 kg. Súčasťou lavice sú špeciálne držiaky na upevnenie ionizačných komôr a ostatných prístrojov a zariadení.

#### 2.2.1.4.4 Meradlá dĺžky

Na nastavenie odpichu, t.j. rovnakej referenčnej vzdialenosti etalónovej ionizačnej komory a kalibrovaného, resp. overovaného meradla, upevnených na meracej lavici, od ohniska zdroja referenčného rtg. žiarenia, slúži viacdielny dutinomer s mikrometrickou skrutkou.

Označenie, typ: Dutinomer s mikrometrickou skrutkou

Výrobca: VEB Stuhl, NDR

Rozsah: 60 mm ÷ 1500 mm

Rozlíšenie: 0,01 mm

Identifikačné číslo: 626

Nadväznosť: NE dĺžky - okalibrované dňa 18.12.2000 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 014 211 0002/2000)

*Pozn.:* Od roku 2004, pri striktnom používaní substitučnej metódy meraní v referenčných zväzkoch rtg. žiarenia pomocou transmisnej monitorovacej komory a používaní zostavy laserových vytyčovacích zariadení pre vytýčenie a fixáciu toho istého skúšobného bodu v referenčnom zväzku pre skúšané meradlo i pre etalónové meradlo, pre toto meradlo kalibrácia nie je nutná, keďže toto meradlo neslúži na presné meranie absolútnej vzdialenosti referenčného meracieho bodu od ohniska zdroja rtg. žiarenia, ale len na nastavenie približnej vzdialenosti skúšobného bodu od ohniska rtg. zdroja.

#### 2.2.1.4.5 Meradlá času

Na priame meranie času ožarovania, počas ktorého je kumulovaná hodnota príslušnej integrovanej veličiny, napr. Kermy vo vzduchu, ako aj na nadviazanie merania času

počítačovými meracími programami riadiacimi časy meraní elektrometrami kumulovaného náboja v etalónovej ionizačnej komore ako i v kalibrovanom, resp. overovanom meradle, slúžia elektronické multifunkčné stopky Conrad Electronic.

Označenie, typ: elektronické multifunkčné stopky Conrad Electronic, typ Quartz  
Výrobca: Decock Electronique, Francúzsko  
Rozsah: 0,01 s ÷ 24 h  
Rozlíšenie: 0,01 s  
Identifikačné číslo: 01  
Nadväznosť: NE času SMU, okalibrované: 20.12.2001 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 083 210 0232/01); 20.01.2005 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 011/210/16/05)

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

#### 2.2.1.4.6 Tlakomery

Pri vyhlásení etalónu boli jeho súčasťou aj nasledujúce tlakomery na stanovenie tlaku okolitého ovzdušia:

Deformačný ručičkový tlakomer so stupnicou v zastaralých jednotkách: torroch.

Označenie, typ: Deformačný aerometer,  
Výrobca: VEB Stuhl, NDR  
Rozsah: 84 kPa ÷ 107 kPa (630 ÷ 800 Torr)  
Rozlíšenie: 0,7 kPa (0,5 Torr)  
Výrobné číslo: 73224

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

Ortuťový barometer:

Označenie, typ: ortuťový barometer, typ B1  
Výrobca: VEB Stuhl, NDR  
Rozsah: 800 hPa ÷ 1100 hPa  
Rozlíšenie: 0,5 hPa  
Výrobné číslo: 3598

*Pozn.:* V súčasnosti sa už toto meradlo nepoužíva, pretože bolo vyradené zo zostavy NE.

#### 2.2.1.4.7 Teplomery

Na meranie teploty okolitého prostredia sú určené dve sady nižšie uvedených typov sklenených ortuťových teplomerov od výrobcu Sklářny Kavalír, ČSFR. Z uvedených jedna sada slúži na meranie teploty prostredia v ožarovni NE rtg. žiarenia a druhá sada slúži na korekciu odčítanej hodnoty atmosférického tlaku na ortuťovom barometri, ktorý je umiestnený vo vedľajšej miestnosti, v ožarovni „Cs“ NE žiarenia gama.

Označenie: sklenený ortuťový teplomer  
Výrobca: Sklářny Kavalír, ČSFR  
Typ: 04086  
Výrobné čísla: 457 a 419

Rozsah:	15,00 °C ÷ 18,00 °C
Typ:	10087
Výrobné čísla:	382 a 386
Rozsah:	18,00 °C ÷ 24,00 °C
Typ:	04087
Výrobné čísla:	100 a 115
Rozsah:	21,00 °C ÷ 27,00 °C

Rozlíšenie u všetkých uvedených typov sklenených teplomerov je 0,01 °C.  
Posledná kalibrácia uvedených teplomerov bola vykonaná 7.7.2000 v SMU.

*Pozn.:* V súčasnosti sa už tieto meradlá nepoužívajú, pretože na meranie teploty sa používajú novšie digitálne meradlá.

## **2.2.2 Zmeny uskutočnené pri revízii NE v r. 2004**

### **2.2.2.1 Meradlá vyradené zo zostavy národného etalónu**

#### **2.2.2.1.1 Ionizačná komora OMH typ ND1001**

Jedná sa o vzduchovo ekvivalentnú ionizačnú komoru:

označenie, typ:	ionizačná komora OMH, ND1001
výrobca:	OMH, Maďarsko
výrobné číslo:	7821
objem:	20 cm <sup>3</sup>

Dôvod vyradenia: neopraviteľná chyba.

#### **2.2.2.1.2 Ionizačná komora Capintec typ PR-18**

Jedná sa o vzduchovo ekvivalentnú ionizačnú komoru:

vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora	
označenie, typ:	Capintec, PR-18
výrobca:	Capintec, USA
výrobné číslo:	CII 1.89041
objem:	1800 cm <sup>3</sup>

Dôvod vyradenia: nepoužívaná kvôli nevhodnému tvaru (nesférická komora); z pôvodnej sady ionizačných komôr najmenej presná.

#### **2.2.2.1.3 Elektrometer DPI 02 so sadou kapacitných normálov**

Jedná sa o digitálny prúdový integrátor s elektrometrickým operačným zosilňovačom s veľmi vysokým vstupným odporom  $>10^{14} \Omega$ .

Výrobca: SMU.

Dôvod vyradenia: nepoužívaný, nahradený modernými komerčnými presnejšími a programovateľnými elektrometrami KEITHLEY typ 6517A.

#### 2.2.2.1.4 Ampérmeter na meranie prúdu transmisnej komory

Jedná sa o digitálne meradlo prúdu:

označenie, typ: Keithley, 480 Pikometer  
výrobné číslo: 13312  
merací rozsah: 1 pA ÷ 1 mA  
trieda presnosti: 0,1

Dôvod vyradenia: nepoužívaný, nahradený modernými komerčnými presnejšími a programovateľnými elektrometrami KEITHLEY typ 6517A.

#### 2.2.2.1.5 Tlakomery

Jedná sa o dva tlakomery:

1. Označenie, typ: Deformačný aerometer,  
Výrobca: VEB Stuhl, NDR  
Rozsah: 630 ÷ 800 Torr  
Rozlíšenie: 0,5 Torr  
Výrobné číslo: 73224

2. Označenie, typ: ortuťový barometer, typ B1  
Výrobca: VEB Stuhl, NDR  
Rozsah: 800 ÷ 1100 hPa  
Rozlíšenie: 0,5 hPa  
Výrobné číslo: 3598

Dôvod návrhu na vyradenia: nepoužívané, nahradený modernými presnejšími a programovateľnými elektronickými multimetrami s príslušným čidlom na meranie atmosferického tlaku okolitého ovzdušia.

Zo zostavy NE bol však na základe oponentúry vyradený len Deformačný aerometer. Ortuťový barometer bol ponechaný v zostave ako záložné meradlo.

#### 2.2.2.1.6 Teplomery

Jedná sa o tri sklenené ortuťové teplomery:

Označenie: sklenený ortuťový teplomer  
Výrobca: Sklářny Kavalír, ČSFR

1. Typ: 04086  
Výrobné čísla: 457 a 419  
Rozsah: 15,00 °C ÷ 18,00 °C

2. Typ: 10087  
Výrobné čísla: 382 a 386  
Rozsah: 18,00 °C ÷ 24,00 °C

3. Typ: 04087  
Výrobné čísla: 100 a 115  
Rozsah: 21,00 °C ÷ 27,00 °C

Dôvod návrhu na vyradenie: nepoužívané, nahradený modernými presnejšími a programovateľnými elektronickými multimetrami s príslušným čidlom na meranie teploty okolitého ovzdušia.

Zo zostavy NE však na základe oponentúry nakoniec vyradené neboli, ale boli ponechané v zostave ako záložné meradlá.

## 2.2.2.2 Meradlá zaradené do zostavy národného etalónu

### 2.2.2.2.1 Ionizačná komora OMH typ ND1001

#### 2.2.2.2.1.1 Popis komory

vzduchovo ekvivalentná ionizačná komora

označenie, typ: ionizačná komora OMH, ND1001

výrobca: OMH, Maďarsko

výrobné číslo: 8110

objem: 20 cm<sup>3</sup>

#### 2.2.2.2.1.2 Kalibrácia

Dátum: 25.5.2004

Laboratórium: SMU, SR

Číslo kalibračného listu: 004/250/44/04

Rozsah kalibrácie: S-Cs

Dátum: 23.3.2009

Laboratórium: SMU, SR

Číslo kalibračného listu: 036/250/44/09

Rozsah kalibrácie: S-Cs

#### 2.2.2.2.1.3 Metrologické parametre

Rozsah merania: 1 mGy/h ÷ 5 Gy/h

Rozšírená neistota: ±2,1 % pre interval spoľahlivosti 95 %

Dôvod na zaradenie: nahradenie pokazenej a neopraviteľnej ionizačnej komory rovnakého typu.

### 2.2.2.2.2 Elektrometer KEITHLEY typ 6517A k etalónovej ionizačnej komore

#### 2.2.2.2.2.1 Popis elektrometra

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A je digitálny multifunkčný elektrometer s plávajúcou zemou s elektrometrickým operačným zosilňovačom s veľmi vysokým vstupným odporom vyrobený spoločnosťou KEITHLEY Inc. v USA. Používa sa na meranie náboja vytvoreného ionizujúcim žiarením referenčného rtg. zväzku v etalónovej ionizačnej komore počas vopred zvoleného časového úseku. Meranie je spúšťané a programovo riadené pomocou IBM kompatibilného osobného počítača pomocou programu Hpee.

#### 2.2.2.2.2.2 Kalibrácia

Kalibrácia elektrometra bola vykonaná v SMU dňa 15.2.2002 (Protokol o meraní č. 03/250/02 Int.) pomocou kalibrátora Keithley typ 263, výr. č. 528327, digitálneho multimetra HP typ 34420A, výr. č. US36001885, a etalónových kondenzátorov G-R Tucker typ 14404A

(1 nF), výr. č. 1568, a typ 1409T (100 nF), výr. č. 7169, ktoré sú naviazané na národný etalón elektrickej kapacity. Keďže elektrometer je používaný v zostave s príslušnou etalónovou ionizačnou komorou ako neoddeliteľná súčasť etalónovej meracej zostavy na meranie kerry vo vzduchu, nie je potrebná osobitná kalibrácia elektrometra, ak sa vykonáva kalibrácia kompletnej meracej zostavy s príslušnou etalónovou ionizačnou komorou.

#### 2.2.2.2.3 Technické parametre

Označenie, typ: Elektrometer KEITHLEY typ 6517A  
Výrobca: KEITHLEY Inc., USA  
Výrobné číslo: 0668249  
Rozsah merania náboja: 0,02 nC až 2  $\mu$ C (v podrozsahoch: 2 nC, 20 nC, 200 nC a 2  $\mu$ C)  
Rozšírená neistota: 0,10 % maximálnej hodnoty podrozsahu

Dôvod na zaradenie: nahradenie zastaralého elektrometra DPI 02.

### 2.2.2.2.3 Elektrometer KEITHLEY typ 6517A k monitorovacej transmisnej komore

#### 2.2.2.2.3.1 Popis elektrometra

Elektrometer KEITHLEY typ 6517A je digitálny multifunkčný elektrometer s plávajúcou zemou s elektrometrickým operačným zosilňovačom s veľmi vysokým vstupným odporom vyrobený spoločnosťou KEITHLEY Inc. v USA. Používa sa na meranie náboja vytvoreného ionizujúcim žiarením zväzku referenčného rtg. žiarenia v monitorovacej ionizačnej komore počas vopred zvoleného časového úseku počas ožarovania etalónového, resp. skúšaného meradla. Meranie je spúšťané a programovo riadené pomocou IBM kompatibilného osobného počítača pomocou programu Hpee.

#### 2.2.2.2.3.2 Kalibrácia

Kalibrácia elektrometra bola vykonaná v SMU dňa 15.2.2002 (Protokol o meraní č. 02/250/02 Int.) pomocou kalibrátora Keithley typ 263, výr. č. 528327, digitálneho multimetra HP typ 34420A, výr. č. US36001885, a etalónových kondenzátorov G-R Tucker typ 14404A (1 nF), výr. č. 1568, a typ 1409T (100 nF), výr. č. 7169, ktoré sú naviazané na národný etalón elektrickej kapacity. Keďže elektrometer v zostave s monitorovacou ionizačnou komorou slúžia len ako pomerové meradlo, nie je potrebná kalibrácia tohto meradla, teda ani elektrometra.

#### 2.2.2.2.3.3 Technické parametre

Názov, typ: Keithley, 6517A  
výrobné číslo: 0695439  
Merací rozsah: 0,02 nC ÷ 2  $\mu$ C  
Rozsah merania náboja: 0,02 nC až 2  $\mu$ C (v podrozsahoch: 2 nC, 20 nC, 200 nC a 2  $\mu$ C)  
Rozšírená neistota: 0,10 % maximálnej hodnoty podrozsahu

Dôvod na zaradenie: nahradenie zastaralého elektrometra DPI 02.

#### 2.2.2.2.4 Merací systém ALMEMO

Na meranie podmienok okolitého prostredia sa od roku 2004 používa univerzálny elektronický merací systém ALMEMO, ktorého základ tvorí vyhodnocovacia jednotka ALMEMO typ 2290-4 V5, výr. č. H02020269M, výrobca AMR GmbH, Nemecko, na ktorú sú pripojené nasledujúce snímače:

- snímač teploty typ FH A646-6 výr. č. 02020037 s meracím rozsahom od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$  a s rozlišovacou schopnosťou  $0,01^{\circ}\text{C}$ , okalibrovaný dňa: 09.8.2004 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 137/270/32/04); 28.10.2005 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 456/270/32/05); 24.6.2009 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 420/270/32/09)
- snímač teploty typ NTC termistor, č.2.1, s kalibrovaným meracím rozsahom od  $18^{\circ}\text{C}$  do  $28^{\circ}\text{C}$  a s rozlišovacou schopnosťou  $0,01^{\circ}\text{C}$ , okalibrovaný dňa: 10.11.2005 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 464/270/32/05); 24.6.2009 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 420/270/32/09)
- snímač teploty typ NTC termistor, č.2.2, s kalibrovaným meracím rozsahom od  $18^{\circ}\text{C}$  do  $28^{\circ}\text{C}$  a s rozlišovacou schopnosťou  $0,01^{\circ}\text{C}$ , okalibrovaný dňa: 10.11.2005 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 463/270/32/05); 24.6.2009 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 420/270/32/09)
- číslicový barometer typ 2290-4 s rozsahom od 90 kPa do 105 kPa s rozlišovacou schopnosťou 0,01 kPa, výr. č. H02020269M, okalibrovaný dňa: 24.8.2004 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 184/220/17/04); 05.01.2006 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 004/220/17/06); 16.06.2009 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 185/220/17/09)
- vlhkomer typ FH A646-6 výr. č. 0220037 s rozsahom od 5 % RH do 98 % RH s rozlišovacou schopnosťou 0,1 % RH, okalibrovaný dňa: 08.9.2004 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 141/260/34/04); 18.6.2004 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 964/260/34/09).

Výhodou tohto systému je diaľkový zber nameraných dát do osobného počítača a ich zobrazenie na obrazovke osobného počítača, čo umožňuje bezprostredné sledovanie a odčítanie parametrov okolitého prostredia bez nutnosti jeho narušenia vlastnou osobou a otváraním dverí meracej miestnosti, ako to bolo pri odčítavaní zo sklenených teplomerov, resp. ortuťového barometra.

Dôvod na zaradenie: nahradenie klasických meradiel teploty a tlaku presnejšími a diaľkovo odčítateľnými elektronickými meradlami.

#### 2.2.2.2.5 Laserové vytyčovací zariadenie

Os referenčného zväzku rtg. žiarenia a tiež v referenčnom pracovnom bode na ňu kolmá os je pre potreby nastavenia ionizačnej komory a skúšaného meradla do referenčného pracovného bodu simulovaná laserovými lúčmi nasledujúcich laserových vytyčovacích zariadení:

- Laserpointer typ LX, výr. č. 575300, výrobca Legamaster B.V., Holandsko;
- LASER s automatickou niveláciou a so statívom typ EPT-SA, ev. č. 1 a ev. č. 2, výrobca EPT, Čína.

Dôvod na zaradenie: zjednodušenie a spresnenie požadovanej orientácie a umiestnenia etalónového aj kalibrovaného meradla do vybraného referenčného bodu rtg. zväzku.

#### **2.2.2.2.6 Osobný počítač so špeciálnym programovým vybavením**

Upgradovaný IBM kompatibilný osobný počítač s označením „rtg“, inventárne č. III – 06629, pôvodne s operačným systémom Windows, obsahujúci okrem programového balíka MS Office 97 s tabuľkovým programom Excel, v ktorom sú vytvorené vzorové súbory na záznam a spracovanie nameraných dát, informácií o predmete merania a podmienok meraní, a ktorý tiež slúži na záznam primárnych dát pomocou aplikačných programov softwaru Hpee, pomocou ktorého sú ovládané elektrometre. V počítači sú nainštalované aj originálne programy na ovládanie meracej lavice (VF\_MZRS), na ovládanie elektronického meracieho systému AMR ALMEMO a ďalšie originálne programy k používaným meracím, záznamovým, obslužným a pomocným zariadeniam. Tento osobný počítač s farebným monitorom slúži ako zobrazovacia, riadiaca, záznamová i vyhodnocovacia jednotka. V uvedenom počítači sa zaznamenávajú primárne dáta z jednotlivých meraní, ktoré sa potom kopírujú prostredníctvom vnútroústavnej siete do centrálného počítača na sekretariáte centra 250, kde sa archivujú a na počítač osoby zodpovednej za etalón, kde sa spracovávajú, vyhodnocujú a archivujú. Súbory s primárnymi dátami z počítača „rtg“ i počítača osoby zodpovednej za etalón sa pravidelne automaticky archivujú v archivačnej knižnici centrálného počítača na sekretariáte centra 250 SMU. Všetky počítače sú prostredníctvom vnútroústavnej siete spojené s ostatnými počítačmi SMÚ, prístup na ne je však obmedzený prostredníctvom hesla.

Dôvod na zaradenie: zjednodušenie ovládania jednotlivých zariadení etalónu a spresnenie meraní.

### **2.2.3 Navrhované zmeny pri tejto revízii NE**

#### **2.2.3.1 Návrhy na vyradenie zo zostavy národného etalónu**

##### **2.2.3.1.1 Ionizačná komora OMH typ ND1001**

Jedná sa o vzduchovo ekvivalentnú ionizačnú komoru:

označenie, typ:	ionizačná komora OMH, ND1001
výrobca:	OMH, Maďarsko
výrobné číslo:	8010
objem:	20 cm <sup>3</sup>

Dôvod návrhu na vyradenie: nadbytočné, nepotrebné meradlo, pretože ho plne nahrádza kvalitnejšia etalónová ionizačná komora EXRADIN typ A4-97, výr. č. 270.

##### **2.2.3.1.2 Elektronické multifunkčné stopky Conrad Electronic, typ Quartz**

Jedná sa o ručné elektronické meradlo času:

označenie, typ:	elektronické multifunkčné stopky Conrad Electronic, typ Quartz
výrobca:	Decock Electronique, Francúzsko
identifikačné číslo:	01

Dôvod návrhu na vyradenie: pokazené, neopraviteľné, nahradené novým meradlom času.

#### **2.2.3.2 Návrhy na zaradenie do zostavy národného etalónu**

##### **2.2.3.2.1 Elektronické stopky JVD, typ ST12385**

Jedná sa o elektronické ručné meradlo času:



Označenie, typ: elektronické stopky JVD, typ ST12385

Výrobca: JVD, Česká republika

Rozsah: 0,01 s ÷ 24 h

Rozlíšenie: 0,01 s

Identifikačné číslo: 01

Nadväznosť: NE času - kalibrované dňa 11.7.2008 v SMU (Certifikát o kalibrácii č. 270/210/16/08)

Dôvod návrhu na zaradenie: náhrada za staršie, pokazené, neopraviteľné meradlo času, a to elektronické stopky Conrad Electronic, typ Quartz.

### **3. Špecifikácia metrologických vlastností Slovenského národného etalónu rtg. žiarenia**

#### **3.1 Metrologické parametre zdroja referenčného rtg. žiarenia**

##### **3.1.1 Priechy profil referenčného zväzku rtg. žiarenia**

Začiatkom roka 2004 bola vykonaná úprava kalibračnej stolice a zostavy kolimátorov a energetických filtrov etalónového rtg. zariadenia ich maximálnym možným priblížením k ohnisku rtg. lampy, ktorou sa dosiahlo lepšie zosúladenie geometrickej osi referenčného rtg. zväzku s osou posuvu lavice, ako aj zväčšenia prierezu zväzku, ako aj ostrejšieho ohraničenia hraníc zväzku pomocou kolimačných clôn. Geometrické parametre referenčných zväzkov sa po úprave maximálne priblížili ideálnym hodnotám, ktoré udával výrobca kalibračnej stolice - PTW Nemecko (dvojmiestne číslo na konci označenia clony udáva ideálny priemer zväzku vytváraný daným párom clôn vo vzdialenosti 0,5 m od ohniska rtg. lampy) a zabezpečilo sa úplné pokrytie príkonom odovzdávanej veličiny na úrovni lepšej ako  $\pm 2,5$  % voči jej hodnote v strede priečného profilu zväzku s priemerom 450 mm v referenčnej vzdialenosti 3 m od ohniska rtg. lampy, čo plne postačuje pre homogénne ožiarenie celého ISO doskového fantómu s rozmermi 300 mm x 300 mm x 150 mm pre odovzdávanie veličín osobných dávkových ekvivalentov ( $H_p(d)$ ) v súlade s odporúčaniami príslušných STN IEC a STN ISO. Ďalšie úpravy, ktoré by viedli k novej zmene geometrických parametrov zväzkov, od vtedy vykonané neboli.

Aktuálne priečne profily referenčných zväzkov rtg. žiarenia vo vertikálnej a horizontálnej osi vo vzdialenosti 1 m od ohniska rtg. lampy pre jednotlivé zostavy kolimačných clôn bez energetických filtrov sú zobrazené na obrázkoch 2a a 2b a porovnanie ich priemerov pred úpravou a po nej (v roku 2004) a v roku 2010 je uvedené v tabuľke č. 7. Merania profilov boli vykonané pomocou najmenej dostupnej ionizačnej komôrky - ionizačnej komôrky PTW typ 31002 s objemom 0,125 cm<sup>3</sup> a s priemerom 10 mm, ktorá dovolila merania príkonu kermy v jednotlivých bodoch profilu vzdialených od seba 5 mm (s rozšírenou neistotou 1 mm) s relatívnou rozšírenou neistotou príkonu kermy vo zväzku lepšou ako 0,5 %, čo plne postačovalo pre dostatočne presné stanovenie priemeru zväzku, v ktorom bude zabezpečený v celom jeho priereze homogénne rozloženie príkonu meranej veličiny na úrovni lepšej ako  $\pm 2,5$  % voči jej hodnote v strede priečného profilu zväzku v danej referenčnej vzdialenosti od ohniska referenčného rtg. zdroja.

Ako bolo zistené, a je to zrejmé aj z uvedených grafov, samotný zväzok rtg. žiarenia, bez prídavnej filtrácie, vykazuje vo svojich priečných prierezoch voči osi zväzku nezanedbateľné nesymetrické rozloženie príkonu kermy vo vzduchu (so systematickou zápornou odchýlkou až takmer 10 % na ľavej strane okraja zväzku voči jeho hodnote v strede zväzku a s kladnou odchýlkou 5 % na jeho pravom okraji). Táto vlastnosť, ktorá je spôsobená nehomogenitou samotného terčika a jednotlivých častí rtg. lampy a transmisnej komory, cez ktoré prechádza rtg. zväzok, bola pozorovaná už pri príprave rtg. zariadenia na vyhlásenie NE,

jeho používaním sa však v dôsledku vypaľovania samotného terčika v rtg. lampe zrejme zhoršila. Toto nerovnomerné rozloženie bolo čiastočne kompenzované úpravou a orientáciou prídavných energetických filtrov, ktoré tiež nie sú absolútne homogénne a rovnako hrubé (v súlade s príslušnými normami výrobca udáva maximálnu odchýlku hrúbky vyrobených filtrov od ich nominálnej hodnoty až 5 %). Tento fakt bol však samozrejme zohľadnený pri stanovení neistôt reprodukovateľných hodnôt prostredníctvom uvedeného referenčného zdroja rtg. žiarenia odovzdávaných veličín.

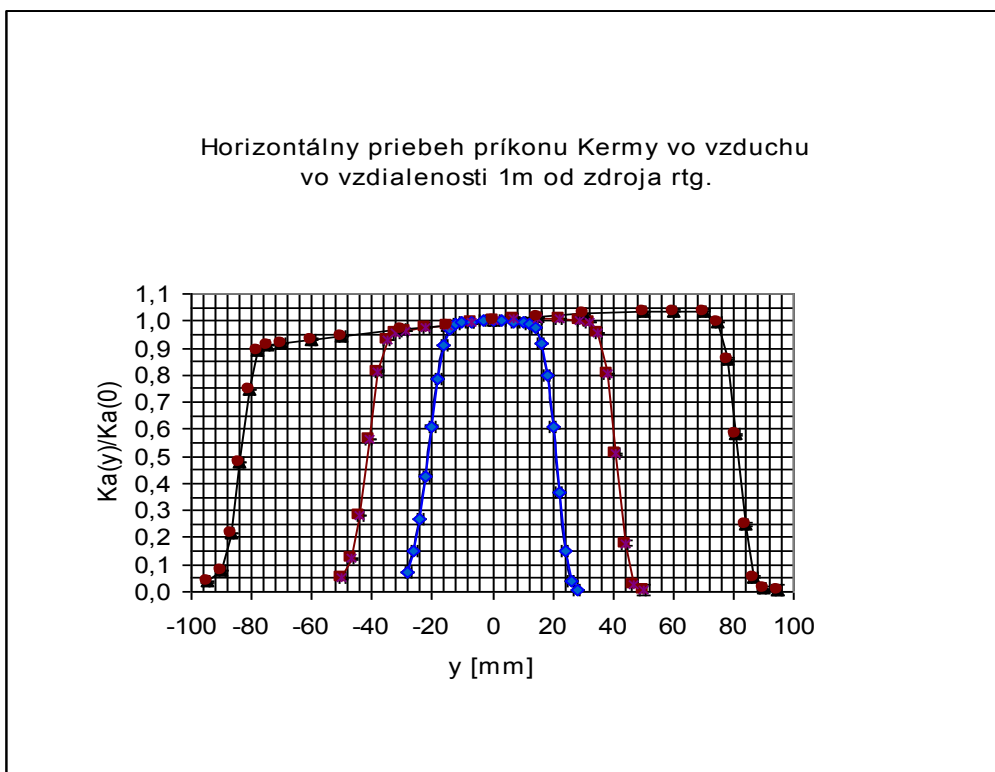
Priečne profily referenčných zväzkov rtg. žiarenia pri použití prídavných energetických filtrov pre rtg. kvalitu N-60 pri použití páru clôn B-80 vytvárajúcich najširší zväzok sú zobrazené na obrázkoch 3a a 3b.

Porovnanie rozbiehavosti zväzkov bez energetického filtra a s energetickým filtrom (hodnoty príkonu kermy na okrajoch priečného profilu zväzku na úrovni 95 % jej hodnoty v strede zväzku) v horizontálnej a osobitne vo vertikálnej rovine je na obrázkoch 4a a 4b.

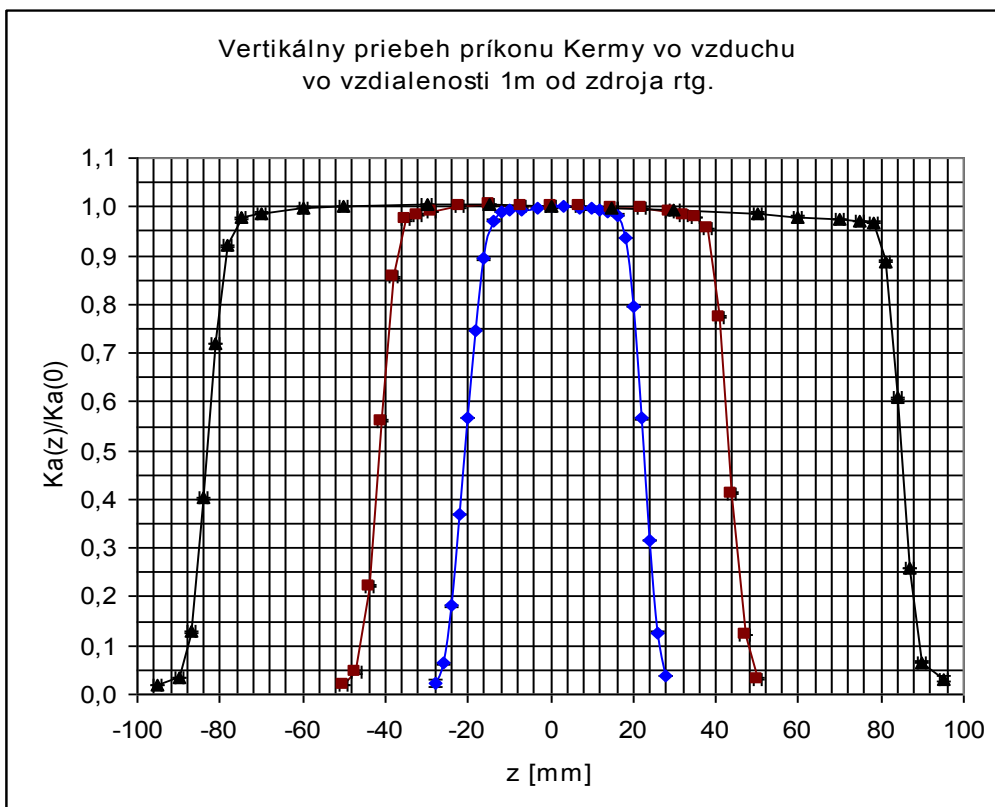
Tabuľka 7: Porovnanie priemerov rtg. zväzkov vo vybraných referenčných bodoch pred úpravou geometrie, po nej (v roku 2004) a v roku 2010

Referenčný bod	Clona 1	Clona 2	Vzdialenosť od zdroja rtg. (cm)	Priemer zväzku r. 1998 (mm)	Priemer zväzku r.2004 (mm)	Priemer zväzku r.2010 (mm)
1	B4-80	B3-80	100	138	152	152
2	B4-40	B3-40	100	56	71	72
3	B4-20	B3-20	100	20	30	30
4	B4-80	B3-80	200	230	296	298
5	B4-40	B3-40	200	110	140	140
6	B4-20	B3-20	200	51	59	60
7	B4-80	B3-80	300	322	459	460
8	B4-40	B3-40	300	156	208	210
9	B4-20	B3-20	300	76	88	90

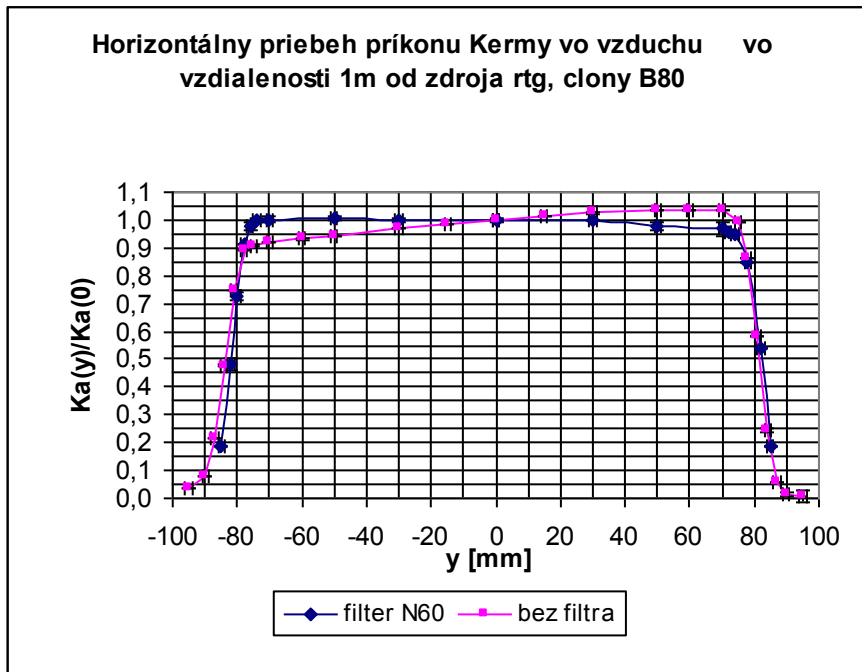
Obrázok 2 a: Horizontálne priečne profily referenčných zväzkov NE rtg. žiarenia pre jednotlivé páry clôn (bez aplikácie prídavných energetických filtrov)



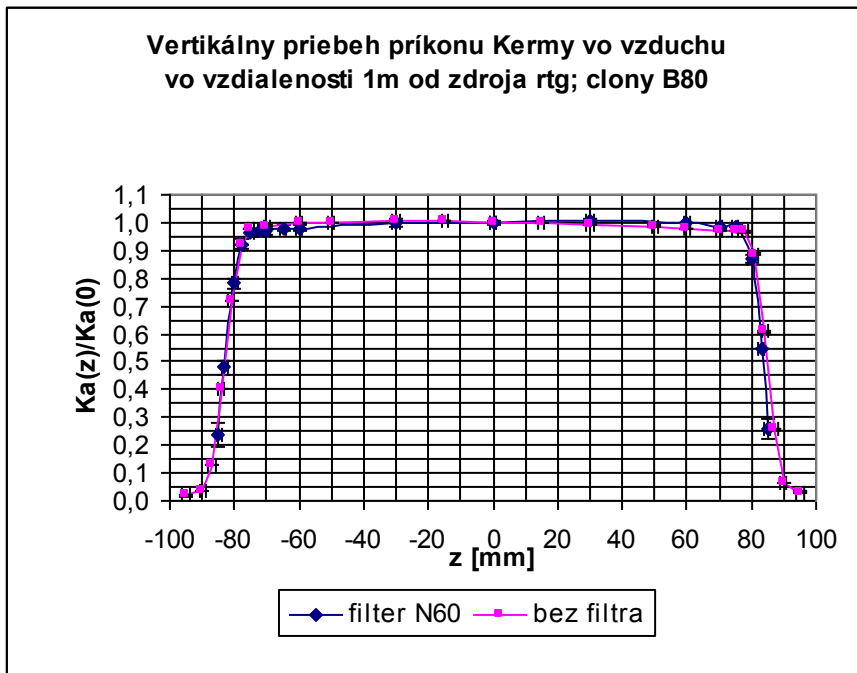
Obrázok 2 b: Vertikálne priečne profily referenčných zväzkov NE rtg. žiarenia pre jednotlivé páry clôn (bez aplikácie prídavných energetických filtrov)



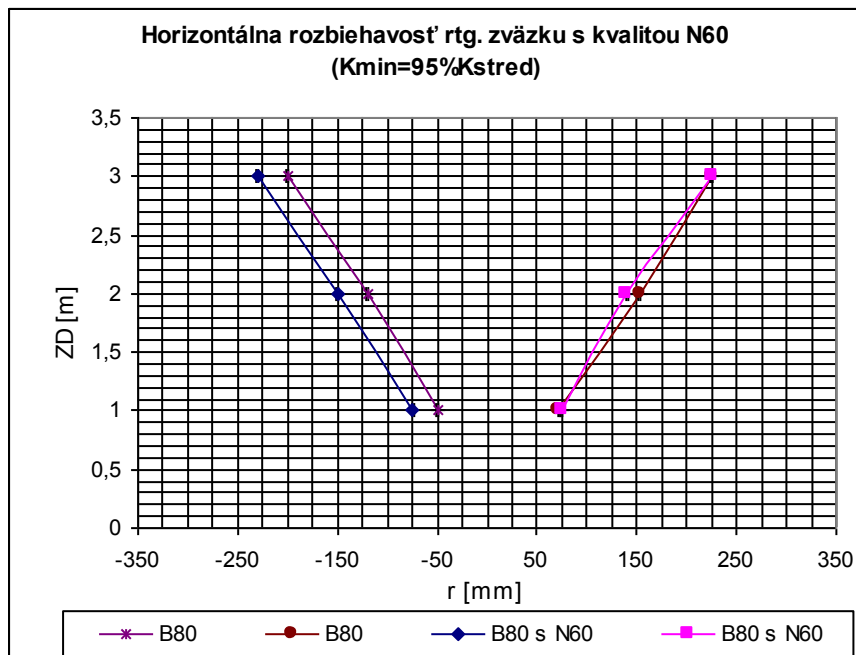
Obrázok 3 a: Horizontálny priečny profil referenčného zväzku NE rtg. žiarenia po použití energetického filtra s kvalitou N60 v porovnaní s jeho profilom bez energetického filtra



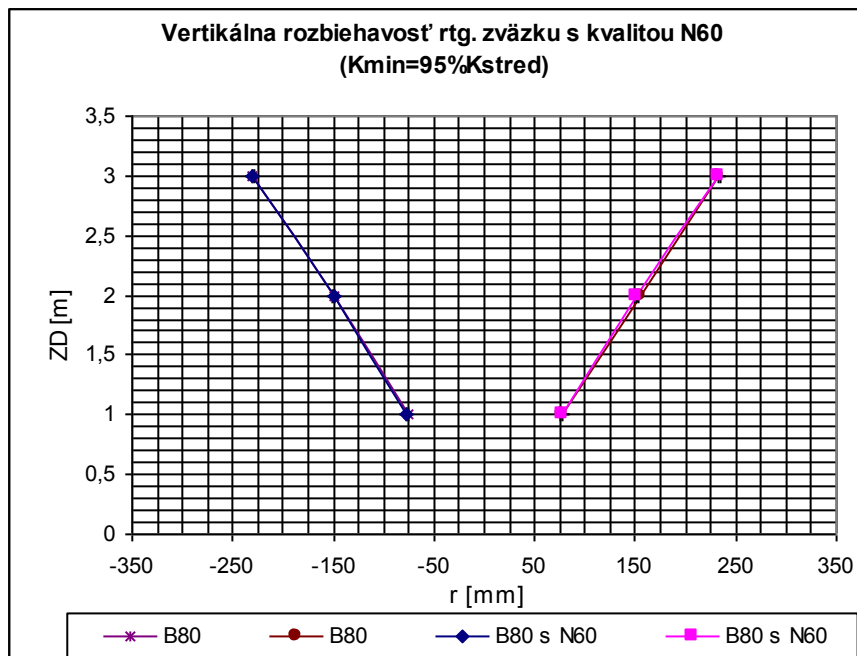
Obrázok 3 b: Vertikálny priečny profil referenčného zväzku NE rtg. žiarenia po použití energetického filtra s kvalitou N60 v porovnaní s jeho profilom bez energetického filtra



Obrázok 4 a: Horizontálna rozbiehavosť referenčného zväzku NE rtg. žiarenia s použitím prídavnej filtrácie pre kvalitu N60 v porovnaní s jeho rozbiehavosťou bez použitia prídavnej filtrácie (pre hodnoty príkonu kerry na okrajoch zväzku na úrovni 95 % z jej hodnoty v jeho strede)



Obrázok 4 b: Vertikálna rozbiehavosť referenčného zväzku NE rtg. žiarenia s použitím prídavnej filtrácie pre kvalitu N60 v porovnaní s jeho rozbiehavosťou bez použitia prídavnej filtrácie (pre hodnoty príkonu kerry na okrajoch zväzku na úrovni 95 % z jej hodnoty v jeho strede)



### 3.1.2 Pozdĺžny profil referenčného zväzku rtg. žiarenia

Závislosť príkonu kerry od polohy na osi zväzku ( $z$ ) nazývame pozdĺžnym profilom zväzku. Táto závislosť ma tvar:

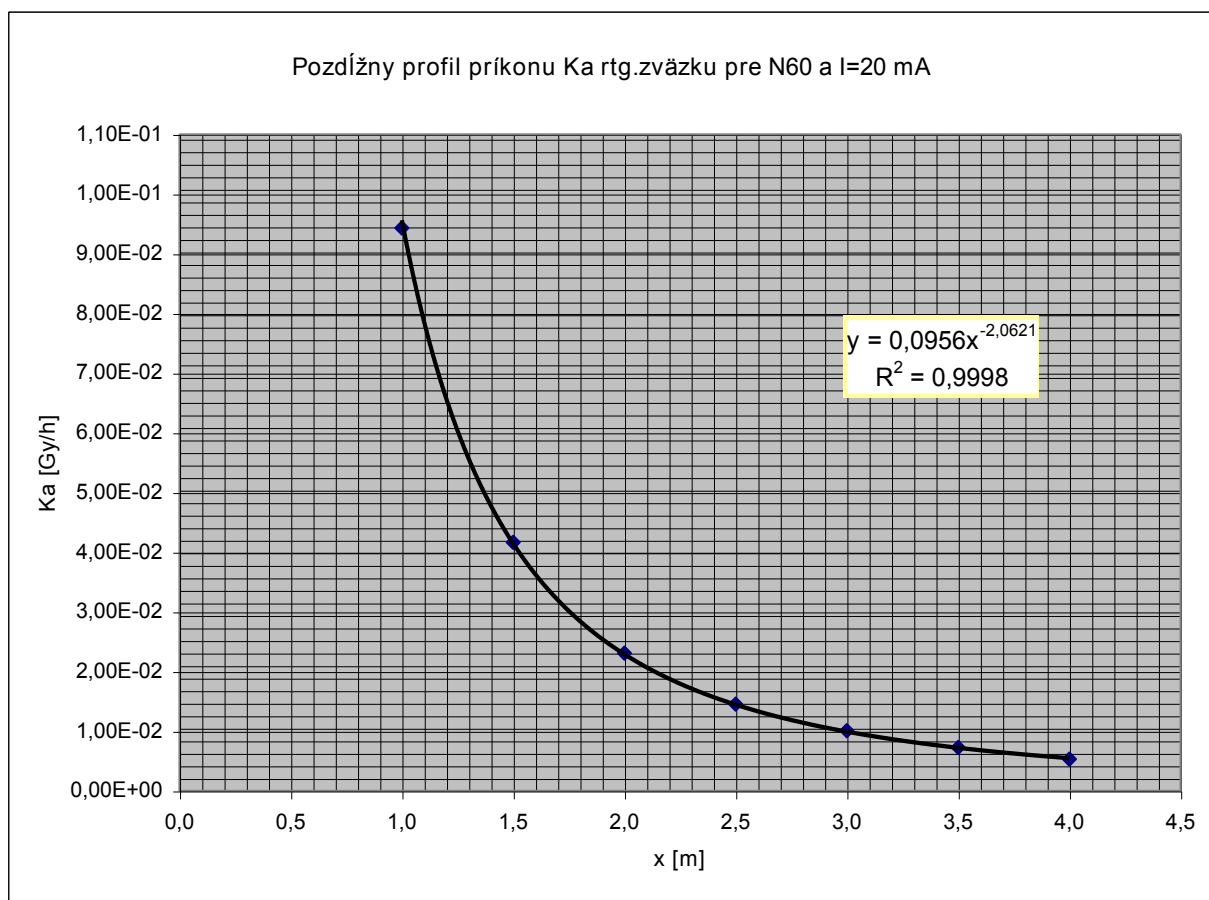
$$(8.1) \dots \quad K = \frac{K_0}{z^2} e^{-\mu \cdot z}$$

kde  $K_0$  je konštanta charakterizujúca zdroj (príkon kerry závislý od prúdu v rtg. lampe);  
 $\mu$  je koeficient zoslabenia röntgenového žiarenia vo vzduchu;  
 $z$  je vzdialenosť referenčného bodu od ohniska rtg. lampy.

Táto závislosť predstavuje aproximáciu na bodový monoenergetický žiarič. Na základe výsledkov meraní bolo zistené, že táto fitovacia funkcia sa dá nahradiť polynomicou funkciou, ktorá s dostatočnou presnosťou vyjadruje závislosť príkonu kerry vo vzduchu od vzdialenosti na osi zväzku.

Namerané hodnoty príkonu kerry vo vzduchu od referenčného zdroja v rôznych vzdialenostiach v referenčnom zväzku rtg. žiarenia kvality N60 (pri konštantnom prúde v rtg. lampe  $I=20$  mA) a aproximačná funkcia ( $y$ ) závislosti príkonu kerry vo vzduchu od vzdialenosti referenčného bodu ( $x$ ) od ohniska zdroja rtg. žiarenia sú uvedené na obrázku č. 5 (kde  $R^2$  je korelačný koeficient).

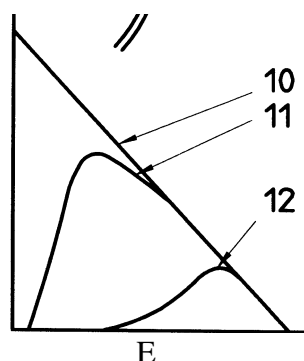
Obrázok 5: Pozdĺžny profil referenčného zväzku rtg. žiarenia



### 3.1.3 1. a 2. polhrúbka a homogenita rtg. zväzku

Keďže rtg. žiarenie nie je monoenergetické žiarenie, ale energetický balík so spojitým rozdelením, t. j. spojitým spektrom energií, s energiami prakticky od nuly po maximálnu energiu danú urýchľovacím napätím elektrónov na rtg. trubici, jeho tvar sa upravuje použitím vhodného energetického filtra (viď obrázok č. 6).

Obrázok 6: Tvar energetického spektra rtg. žiarenia (podľa STN ISO 4037-2)



*Legenda:* 10 - nefiltrované rtg. žiarenie pri jeho vzniku v rtg. trubici;  
11 – rtg. žiarenie vychádzajúce z rtg. trubice  
12 – rtg. žiarenie po prechode prídavnou energetickou filtráciou

Pre tento energetický balík je možné vypočítať strednú energiu  $\bar{E}$ , ktorá aproximuje monoenergetické žiarenie charakterizované absorpciou žiarenia v danom materiály. STN ISO 4037-1 doporučuje použitie čistej medi (Cu) resp. hliníka (Al) a veľkosť absorpcie udáva prvou resp. druhou polhrúbkou daného materiálu, ktorá zoslabí primárny lúč na polovicu resp. na štvrtinu pôvodnej hodnoty.

Pomocou týchto polhrúbok sa určuje homogenita zväzku ( $h$ ), ktorá je daná pomerom oboch polhrúbok:

$$h = \frac{1HVL}{2HVL}$$

kde 1.HVL je hrúbka prvej polhrúbky zoslabujúceho materiálu vyjadrená v mm;  
2.HVL je hrúbka druhej polhrúbky zoslabujúceho materiálu vyjadrená v mm.

Hodnoty 1. HVL a 2. HVL národného etalónu rtg. žiarenia pre jednotlivé energie série úzkych spektier sú uvedené v tabuľke č. 8. V tabuľke č. 8 sú pre porovnanie uvedené aj 1.HVL udávané v STN ISO 4037-1 [10].

Tabuľka 8: Hodnoty polhrúbok pre jednotlivé stredné energie úzkych spektier rtg. žiarenia

Výsledky experimentálneho určenia 1.HVL a 2.HVL v Cu v 1000 mm					
$\bar{E}$	1.HVL <sub>mer</sub>	$u_a(1.HVL)$	1.HVL <sub>ISO</sub>	$I(HVL)$	$u_c(1.HVL)$
[keV]	[mm]	[%]	[mm]	[%]	[%]
48	*0,275	7,35	0,23	19,7	13,54
65	0,594	1,64	0,58	2,4	2,14
83	1,078	0,72	1,11	2,9	3,08
100	1,716	3,52	1,71	0,33	3,52
118	2,403	5,19	2,36	1,82	5,29
164	4,028	5,91	3,99	0,96	5,93
248	6,216	3,47	6,12	1,57	3,59

\*Pozn: Hodnota získaná extrapoláciou.

### 3.1.4 Závislosť príkonu kerry vo vzduchu od prúdu v rtg. lampe

Závislosť príkonu kerry vo vzduchu od prúdu v rtg. lampe je lineárna. Táto vlastnosť bola potvrdená aj meraniami. Nameranými hodnotami bola pomocou lineárnej regresie preložená priamka prechádzajúca nulou a stanovené korelačné koeficienty medzi príkonom kerry vo vzduchu a prúdom rtg. lampy

Prehľad pomerov príkonu kerry vo vzduchu ( $\dot{K}_a$ ) k prúdu rtg. lampy ( $I_{rtg}$ ), vrátane ich rozšírenej neistoty (s koeficientom rozšírenia  $k=2$ ) v referenčnej vzdialenosti 1m od ohniska rtg. lampy pre vybrané napätia na rtg. trubici a stredné energie ( $\bar{E}$ ) úzkych rtg. spektier je uvedený v tabuľke č. 9.

Tabuľka 9: Pomer príkonu kerry vo vzduchu k prúdu rtg. lampy

Napätie na rtg. trubici	$\bar{E}$	$k(\dot{K}_a/I_{rtg})$	$U_c(k)$
[kV]	[keV]	[Gy.h <sup>-1</sup> .A <sup>-1</sup> ]	[%]
40	33	2.39	2,3
60	48	4.70	2,2
80	65	2.19	2,3
100	83	0,99	2,3
120	100	1.17	2,2
150	118	9.93	2,2
200	164	3.60	2,2
250	200	3.35	2,2
300	248	3.18	2,3



### 3.2 Rozsah hodnôt veličín reprodukováných NE rtg. žiarenia

Aktuálny rozsah národným etalónom rtg. žiarenia reprodukováných hodnôt príkonov kerry vo vzduchu pre kvality rtg. žiarenia úzkych spektier podľa STN ISO je uvedený v tabuľke č. 10.

Horná hranica odovzdávaného rozsahu veličiny Kerma vo vzduchu je daná maximálnym prúdom rtg, lampou pri zvolenom napätí (pre rôzne napätia je rôzna – pozri Tabuľku č. 3) a najbližšou použiteľnou vzdialenosťou referenčného bodu zväzku, ktorá je obmedzená konštrukčnými prvkami na 0,5 m. Dolná hranica odovzdávaného rozsahu veličiny je samozrejme určená minimálnym prúdom rtg. zdroja, maximálnou vzdialenosťou referenčného bodu zväzku, ktorá je obmedzená dĺžkou konštrukcie meracej lavice na 4 m. Dolnú hranicu meracieho rozsahu ovplyvňuje aj pozadie z okolia i vlastné pozadie použitej etalónovej zostavy (príkon kerry v ovzduší najvzdialenejšieho referenčného bodu z prírodného i umelého pozadia, i rozptýleného žiarenia, vrátane z pomocných a ďalších okolitých zariadení, ako aj zo samotnej ionizačnej komory, jej stonky, ale aj zvodový prúd ionizačnej komory a elektronický šum káblov i vlastného elektrometra).

Hranice rozsahov ďalších odovzdávaných veličín odvodených od kerry vo vzduchu, ako sú priestorový dávkový ekvivalent  $H^*(10)$ , smerový dávkový ekvivalent  $H'(0,07)$ , osobný dávkový ekvivalent v hĺbke 10 mm  $H_p(10)$  a osobný dávkový ekvivalent v hĺbke 0,07 mm  $H_p(0,07)$ , sú navyše ešte obmedzené aj rozsahom vzdialenosti referenčných bodov, pre ktoré sú v technických normách publikované konverzné koeficienty použiteľné a tiež rozmermi fantómov, ktoré sa musia pri ich reprodukcii použiť a musia byť celé vnútri referenčného zväzku.

Tabuľka 10: Rozsah reprodukováných hodnôt národným etalónom rtg. žiarenia pre sériu úzkych rtg. spektier

Kvalita rtg. žiarenia	Rozsah príkonu kerry vo vzduchu	Rozšírená neistota (pre k=2)	konverzné faktory pre stanovenie dávkového ekvivalentu, pre uhol dopadu žiarenia 0° a vzdialenosť od ohniska 1 m až 3 m			
			pre ICRU guľu		pre ICRU hranol	
			$H^*(10)$	$H'(0,07)$	$H_p(10)$	$H_p(0,07)$
[typ - kV]	[mGy/h]	[%]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]
N - 40	0,05 ÷ 54	2,8	1,18	1,25	1,17	1,27
N - 60	0,05 ÷ 105	2,8	1,59	1,48	1,65	1,55
N - 80	0,05 ÷ 48	2,8	1,73	1,60	1,88	1,72
N - 100	0,05 ÷ 22	2,8	1,71	1,60	1,88	1,72
N - 120	0,05 ÷ 26	2,8	1,64	1,55	1,81	1,67
N - 150	0,05 ÷ 210	2,8	1,58	1,50	1,73	1,61
N - 200	0,05 ÷ 57	2,8	1,46	1,39	1,57	1,49
N - 250	0,05 ÷ 43	2,8	1,39	1,34	1,48	1,42
N - 300	0,05 ÷ 34	2,8	1,35	1,31	1,42	1,38

### 3.2 Dlhodobá stabilita

Po premiestnení prístrojovej zostavy NE do nových priestorov postavených účelovo pre uvedené zariadenie v budove „I“ (miestnosť č. 043C v suteréne), v ktorých je umiestnený doteraz, sa sledovala dlhodobá stabilita produkcie referenčných zväzkov rtg. žiarenia generovaného vysokostabilným rtg. zariadením Philips MG 320 meraním príkonu kerry vo

vzduchu rtg. žiarenia série úzkych spektier v tom istom referenčnom bode (vo vzdialenosti 1 m od ohniska rtg. zdroja). Z nameraných hodnôt, ktoré sú uvedené v tabuľke č. 11a a graficky znázornené na obrázku č. 7a (podľa správy o Uchovávaní NE rtg. za r.2002), je zrejmé, že stabilita produkcie referenčného rtg. žiarenia bola za uvedené obdobie v tolerancii  $\pm 1\%$ , čo je deklarovaná hodnota fluktuácie zdroja VN. V roku 2004 však v dôsledku prestavby kalibračnej lavice a zdroja referenčného zväzku zariadenia na základe výsledkov revízie geometrických parametrov sa stanovil nový referenčný bod, ktorý nie je totožný s pôvodným, takže nie je možné porovnávať stabilitu rtg. zdroja s predchádzajúcimi rokmi. Dlhodobá stabilita rtg. zdroja navyše na rozdiel od dlhodobej stability etalónových ionizačných komôr a monitorovacej transmisnej ionizačnej komory nie je určujúcim parametrom pre NE a slúži len na monitorovanie rýchlosti starnutia rtg. lampy a prípadne stability napájacieho zariadenia, pretože pri odovzdávaní hodnôt reprodukováných veličín sa používa substitučná metóda s použitím transmisnej komory ako monitora. Z uvedeného dôvodu je oveľa významnejšia krátkodobá stabilita nielen toku generovaného referenčného rtg. žiarenia (počas ožarovania etalónovej komôrky a následne kalibrovaného meradla), ktorá je sledovaná priebežne pri každom meraní prostredníctvom monitorovacej transmisnej komory a ktorá pri dostatočnom zahriatí všetkých zariadení a ustálení okolitých podmienok nevykazuje fluktuácie väčšie ako 1 %, ale aj monitorovacej aj samotnej etalónovej meracej zostavy, ktoré nezanedbateľne ovplyvňujú zmeny ovplyvňujúcich podmienok okolia, predovšetkým teploty a atmosférického tlaku ovzdušia, pretože aj monitorovacia komora aj etalónové ionizačné komory sú do vzduchu otvoreného typu, takže hmotnosť vzduchu v nich, od ktorej závisí stanovená hodnota kermy vo vzduchu, je závislá od teploty a tlaku tohto vzduchu.

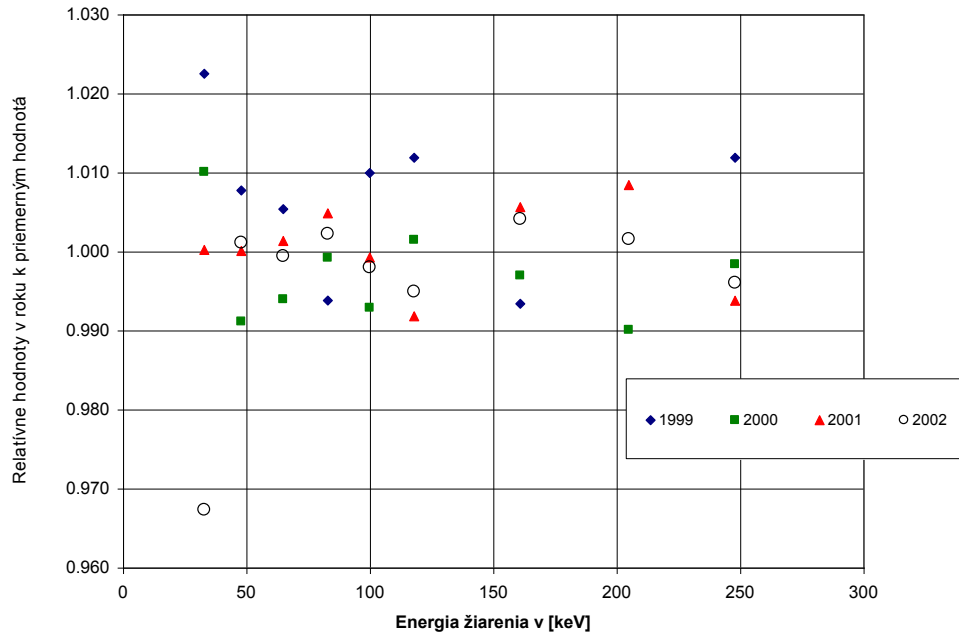
Dlhodobá stabilita etalónových ionizačných komôr s príslušným elektrometrom je kontrolovaná s súladom so zásadami uchovávaní NE meraním vo zväzku  $^{137}\text{Cs}$  NE gama žiarenia. Časový vývoj odozvy používaných etalónových ionizačných komôr vykazujú nevýznamné fluktuácie, ktoré nie je možné oddeliť od vlastnej neistoty merania (pozri tabuľka č.11b a obrázok č. 7b), čo svedčí o vysokej stabilite používaných ionizačných komôr i elektrometra.

Tabuľka 11a: Zmeny príkonu kermy vo vzduchu NE rtg. v období od r. 1999 do r. 2002

Kvalita	1999		2000		2001		2002	
	$\dot{K}_a$	$U_c$	$\dot{K}_a$	$U_c$	$\dot{K}_a$	$U_c$	$\dot{K}_a$	$U_c$
	[Gy/h]	[%]	[Gy/h]	[%]	[Gy/h]	[%]	[Gy/h]	[%]
N - 40	0.741	6,2	0.732	4.8	0.725	3.1	0,701	3,0
N - 60	50,47	2,8	49.6	2.8	50.05	2.6	50,1	2,5
N - 80	22,05	3,0	21.8	2.8	21.96	2.8	21,98	2,6
N - 100	9,90	2,6	9.95	2.8	10.01	2.6	9,98	2,7
N - 120	11,85	2,6	11.65	2.6	11.72	2.8	11,71	2,7
N - 150	100,41	2,6	99.37	2.6	98.41	2.8	98,72	2,7
N - 200	22,25	2,8	22.33	2.8	22.52	2.8	22,49	2,7
N - 250	20,02	2,8	19.82	2.8	20.19	2.6	20,05	2,5
N - 300	17,25	2,8	17.02	2.8	16.94	2.9	16,98	2,8

Obrázok 7a: Zmeny príkonu kermy vo vzduchu NE rtg. v období od r. 1999 do r. 2002

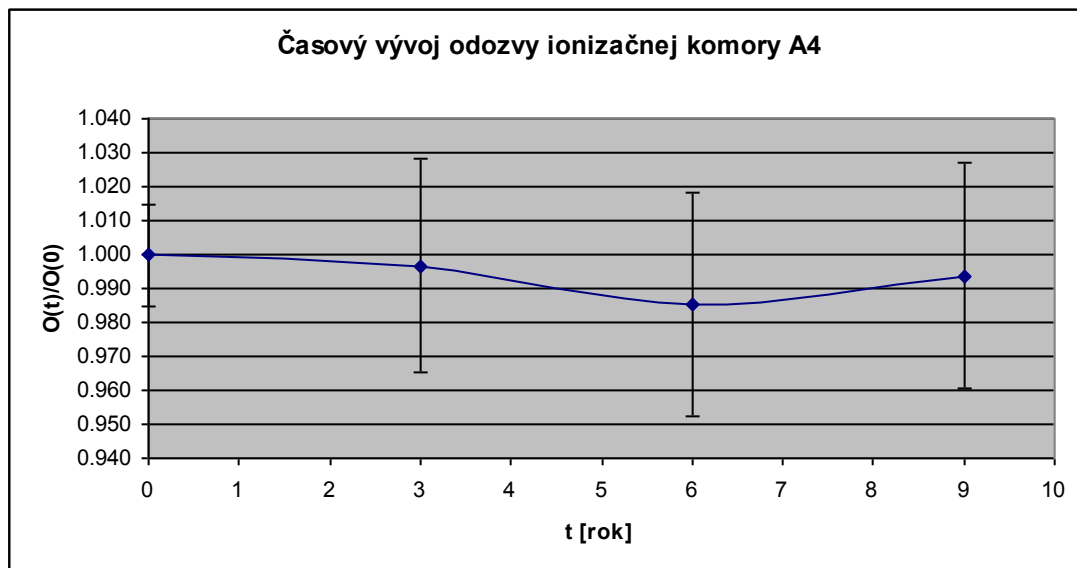
Rozptyl prikonu kerry vo vzduchu v referenčnom bode



Tabuľka 11b: Časový vývoj odozvy ionizačnej komory A4 voči jej odozve pri kalibrácii v BEV v roku 2001

t	O	U(O)%	O(t)/O(0)	U(O(t)/O(0))
[roky]	[A/(Gy/s)]	[%]	[ ]	[ ]
0	9.4518E-07	1.50	1.000	0.015
3	9.4212E-07	2.80	0.997	0.032
6	9.3112E-07	2.98	0.985	0.033
9	9.4212E-07	2.97	0.994	0.033

Obrázok 7a: Časový vývoj pomeru odozvy ionizačnej komory A4 voči jej odozve v roku 2001 (pri kalibrácii v BEV)



### 3.3 Bilancia neistôt

Na základe podrobnej analýzy celého meracieho procesu a zhodnotenia možného vplyvu každého možného zdroja neistôt [13,14,15] s využitím dokumentu [12] bola vykonaná bilancia jednotlivých zdrojov a odhadov ich príspevkov k celkovej neistote konvenčne pravej hodnoty národným etalónom rtg. žiarenia odovzdávanej veličiny. Výsledky bilancie neistôt z jednotlivých zdrojov pri stanovení konvenčne pravej hodnoty kermy vo vzduchu  $K_a$  v rôznych referenčných bodoch pre rôzne kvality referenčného zväzku NE rtg. žiarenia sú uvedené v tabuľke č. 12. Použitý na tento účel je zjednodušený model výpočtu kermy vo vzduchu  $K_a$  z údajov  $M$  nameraného elektrometrom pomocou kalibračného faktora  $N$  a korekčných koeficientov na korekciu vplyvu okolia  $k_{tp}$  a korekcie kalibračného koeficienta na kvalitu zväzku voči kalibračnému koeficientu pre referenčnú kvalitu a energiu  $k_Q$ :

$$K_a = k_{tp} \cdot k_Q \cdot N \cdot M$$

Hodnoty celkovej kombinovanej relatívnej rozšírenej neistoty stanovenia určitej konvenčne pravej hodnoty kermy vo vzduchu  $K_a$  v referenčnom bode referenčného zväzku NE rtg. žiarenia (v rozsahu národným etalónom reprodukovovaných hodnôt) sa predovšetkým v závislosti od použitých kvalít a stredných energií rtg. žiarenia a etalónových komôr pohybujú v intervale od 1,2 % do 3,7 %.

Celková kombinovaná relatívna rozšírená neistota stanovenia konvenčne pravej hodnoty dávkového ekvivalentu  $H$  v referenčnom bode referenčného zväzku NE rtg. žiarenia, ktorý je odvodený od kermy vo vzduchu  $K_a$  pomocou konverzného koeficienta  $h$  uvedeného v STN ISO 4037-3,  $H=h \cdot K_a$ , je v súlade s pravidlami šírenia neistôt zvýšená o hodnotu neistoty konverzného koeficienta (uvádzaná štandardná neistota pre takmer všetky konverzné koeficienty v ISO 4037-3 je 2 % a jeho hodnoty sa pohybujú medzi 4,2 % až 5,5 %.

Tabuľka 12: Tabuľka bilancie neistôt pre stanovenie konvenčne pravej hodnoty kermy vo vzduchu a tiež dávkového ekvivalentu v rôznych referenčných bodoch pre rôzne kvality referenčného zväzku NE rtg. žiarenia

Zdroj neistoty	Relatívna rozšírená neistota $U$ [%]	Koeficient citlivosti $k_c$	Pravde-podobnostné rozdelenie	Koeficient rozšírenia $k$	Poznámka
Údaj elektrometra $M$	0,6 ÷ 1,2	1	Gaussovo	2	Zahŕňa všetky súvisiace neistoty
Kalibračný faktor $N$	1,0 ÷ 2,5	1	Gaussovo	2	Závisí od IK, energie a kvality rtg. zväzku
Okolité podmienky $k_{tp}$	0,2	1	Gaussovo	2	Závisí od použitých meradiel
Kvalita rtg. zväzku $k_Q$	0,04 ÷ 0,4	1	Gaussovo	2	Závisí od energie rtg., filtrov, vzdialenosti, nehomogenít v poli atd.
<b><math>U(K_a)</math> Celková kombinovaná neistota pre <math>K_a</math></b>	<b>1,2 ÷ 2,8</b>	<b>1</b>	<b>Gaussovo</b>	<b>2</b>	
Konverzný koeficient $h$ z $K_a$ na príslušný	4,0	1	Gaussovo	2	Neistota konverzného

dávkový ekvivalent $H$					koeficienta uvedená v STN ISO 4037-3
$U(H)$ Celková kombinovaná neistota pre $H$	4,2 ÷ 4,9	1	Gaussovo	2	

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

Základná časť etalónu rtg. žiarenia, pozostávajúca z ionizačných komôr ND 1001, PR18, elektrometra DPI 02 a rtg. zdroja Philips MG 324 so sadou energetických filtrov, bola pripravená v rokoch 1995 až 1996. Táto etapa bola ukončená čiastkovou oponentúrou výskumnej úlohy [1]. V rámci riešenia tejto úlohy boli získané dve dutinové ionizačné komory, špeciálny elektrometer a bol zakúpený zdroj röntgenového žiarenia. Základné parametre ionizačných komôr boli stanovené kalibráciou v PTB a prenesené na rtg. zdroj v SMU.

Významný podiel na ukončení výskumu etalónu mal projekt v rámci programu PHARE "Ďalší rozvoj štátnych etalónov dozimetrických veličín pre neutrónové a fotónové polia", realizovaný v roku 1995, ktorý poskytol možnosť stanoviť niektoré základné charakteristiky a závislosti etalónu na základe meraní v zahraničí. V rámci projektu sa vykonali merania určujúce energetickú závislosť ionizačných komôr pre rtg. žiarenie. Realizáciou uvedeného projektu sa získala nadväznosť etalónu SMU na etalóny PTB. Podrobnejší rozsah vykonaných meraní a ich výsledkov je uvedený v správe k uvedenému projektu [3].

V druhej etape, v rokoch 1997 až 1998 bol etalón doplnený o ionizačné komory ND 1000 a A4, manipulačnú lavicu a pomocné zariadenia. Počas nej boli vykonané medzinárodné porovnania základných parametrov etalónu ako súčasť medzinárodného projektu DUNAMET D14 (kópia správy o účasti a jej výsledkoch je priložená v prílohe č. 4 tejto súhrnnej správy). Výskum a vývoj národného etalónu bol ukončený v roku 1998 kladnou oponentúrou a vydaním Osvedčenia o národnom etalóne č. 015/98 (jeho kópia je priložená v prílohe č. 1 tejto súhrnnej správy). V záverečnej správe z výskumnej úlohy [2] bol uvedený popis a princíp činnosti etalónového zariadenia, základné metrologické parametre, rozsah a sledovanie dlhodobej stability, stanovená štandardná neistota a vykonané medzinárodné porovnania. Na základe údajov uvedených v správe bolo konštatované, že popísaný etalón kermu fotónov vo vzduchu a dávkového ekvivalentu pre žiarenie X a ich príkonov spĺňa požiadavky kladené na národný etalón a na zodpovedajúcej metrologickej úrovni reprodukuje a uchováva na Slovensku hodnotu týchto veličín. Na základe uvedeného bol podaný návrh na uznanie a zverejnenie meracích schopností laboratória pre príslušné veličiny ionizujúceho žiarenia v CMC tabuľkách. Samotné schvaľovanie trvalo niekoľko rokov, počas ktorých boli jednotlivé položky niekoľkokrát upravované v súlade s vývojom etalónu a požiadavkami posudzovateľov, a až v roku 2009 boli CMC tabuľky pre veličiny ionizujúceho žiarenia konečne zverejnené a v rámci nich aj meracie schopnosti SMU pre veličiny reprodukované národným etalónom rtg. žiarenia (viď príslušná časť CMC tabuliek v prílohe č. 6).

Napriek tomu, že etalón rtg. žiarenia SMU je len sekundárnym etalónom, jeho kvalita v porovnaní s etalónmi okolitých krajín je zrejme z porovnania kvalít referenčných zväzkov rtg. žiarenia série úzkych spektier podľa ISO 4037 v tabuľkách č. 13, 14 a 15, v ktorých sú uvedené prvé polhrúbky odporúčaného zoslabujúceho materiálu a relatívne neistoty udávané pri kalibráciách vybranými pracoviskami s údajmi SMU [4].

Od vyhlásenia etalónu do dnes bolo vykonaných viacero kontrolných meraní hodnôt 1. HVL. Ich výsledky (pozri tabuľku 14) preukazujú, že je toto etalónové zariadenie je ešte vo vyhovujúcom stave, spĺňajúcom požiadavky ISO 4037.

Tabuľka 13: Tabuľka základných parametrov série úzkych spektier podľa ISO 4037 (resp. STN ISO 4037-1) s uvedenými referenčnými hodnotami prvých polhrúbok

Označenie podľa ISO 4037	Napätie na rtg. lampe	Stredná energia	Rozlíšenie	Doplnková filtrácia			1. polhrúbka
				[mm]			
	[kV]	[keV]	[%]	Pb	Sn	Cu	[mm] Cu
N 40	40	33	30	-	-	0,21	0,084
N 60	60	48	36	-	-	0,6	0,23
N 80	80	65	31	-	-	2	0,58
N 100	100	83	28	-	-	5	1,11
N 120	120	100	27	-	1	5	1,71
N 150	150	118	37	-	2,5	-	2,36
N 200	200	164	29	1	3	2	3,99
N 250	250	208	27	3	2	-	5,19
N 300	300	248	26	5	3	-	6,12

Tabuľka 14: Porovnanie hodnôt relatívnych neistôt a prvej polhrúbky (1. HVL) úzkych spektier rtg. žiarenia vybraných pracovísk okolitých krajín s hodnotami NE rtg. v SMU

Pracovisko		PTB Nemecko	BEV Rakúsko	SÚRO Česko	OMH Maďarsko	SMÚ 1998	SMÚ 2010
Relatívna rozšírená neistota (pre k=2)		1,3 %	1,1 %	1,2 %	1,9 %	1,4 %	3,0 %
Typ spektra	Stredná energia	1. HVL	1. HVL	1. HVL	1. HVL	1. HVL	1. HVL
	[keV]	[mm] Cu	[mm] Cu	[mm] Cu	[mm] Cu	[mm] Cu	[mm] Cu
N 40	33	0,083	0,08	0,082	0,084	0,08	0,085
N 60	48	0,240	0,22	0,247	0,27	0,24	0,26
N 80	65	0,586	0,58	0,59	0,59	0,57	0,60
N 100	83	1,15	1,1	1,1	1,08	1,12	1,12
N 120	100	1,73	1,7	1,6	1,72	1,74	1,74
N 150	118	2,40	2,5	2,47	2,4	2,36	2,40
N 200	164	4,06	4,0	3,9	4,03	4,01	4,04
N 300	248	6,2	6,1	6,13	6,22	-	6,22

Tabuľka 15: Porovnanie hodnôt relatívnych odchýlok kalibračných konštánt pre jednotlivé kvality úzkych spektier rtg. žiarenia vybraných pracovísk okolitých krajín voči hodnotám SMU

Odchýlky kalibračných konštánt voči SMU pre úzke spektrá podľa ISO 4037-1			
Pracovisko	BEV	SÚRO	OMH
Typ spektra	Odchýlky kalibračných konštánt v [%]		
N 30	0.06	-	-
N 40	-0.25	-	-0.94
N 60	-0.35	0.51	-1.24
N 80	0.24	-1.37	-1.14
N 100	0.45	-1.87	-0.84
N 120	0.16	-1.07	-0.74
N 150	0.17	-0.67	0.07
N 200	-0.14	-	-0.34
N 250	0.06	-	0.26
N 300	0.17	-	-
Relatívna rozšírená neistota (pre k=2)	1,1 %	1,2 %	1,9 %

Krátko po vyhlásení národného etalónu kermy fotónov vo vzduchu a dávkového ekvivalentu pre žiarenie X a ich príkonov sa ešte v roku 1998 uskutočnilo presťahovanie celej zostavy etalónu z miestnosti č. 119 budovy „H“ do miestností č. 043a a 043c pavilónu „I“, v ktorých je až do súčasnosti. Následne sa vykonalo preverenie parametrov etalónu v nových priestoroch, ktoré potvrdilo uchovanie jeho parametrov v nezmenenom stave.

Ďalšie úsilie pri uchovávaní a rozvoji NE sa sústredilo skvalitnenie a rozšírenie základného i pomocného zariadenia, zdokonalenie kalibračných postupov a postupov na uchovávanie etalónu, odovzdávanie príslušných veličín a overovanie určených meradiel. Výsledky prác pri uchovávaní, zdokonaľovaní a rozvoji NE kermy a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov boli periodicky publikované v záverečných správach zodpovedných riešiteľov trvalej úlohy spätéj s uchovávaním, zdokonaľovaním a rozvojom schváleného NE (viď zoznam publikácií o NE rtg. žiarenia v kapitole 6).

Počas riešenia úlohy Uchovávanie a zdokonaľovanie národného etalónu žiarenia X boli v roku 2000 vykonávané merania, ktoré potvrdili parametre národného etalónu v rámci požadovanej stability, čím bolo zabezpečené uchovávanie veličiny podľa stanovených pravidiel zavedených pri vyhlásení etalónu. Pre rozšírenie rozsahu národného etalónu boli uskutočnené potrebné merania vlastností röntgenového zväzku, a to predovšetkým 1. polhrúbky pre série kvalít žiarenia používané v zdravotníctve. Zistilo sa, že parametre série pre nezoslabený zväzok do 150 kV vyhovujú medzinárodným odporúčaniam, avšak pri meraní série pre zoslabený zväzok sa zistil nesúlad medzi deklarovými parametrami v medzinárodných odporúčaníach a skutočnými nameranými hodnotami. Bol uskutočnený pokus nepriamo overiť kalibračné konštanty ionizačnej komory A4 pre oblasť mamografie v medzinárodnej sieti SSDL zapojením sa do medzinárodného projektu EUROMET 526:

Kalibrácia dozimetrov používaných v mamografii rôznymi kvalitami rtg. žiarenia, avšak výsledky meraní ukázali, že pôvodne zamýšľané používanie tejto etalónovej zostavy a rtg. zariadenia Philips pre mamografickú oblasť rtg. žiarenia nie je vhodná.

Koncom roka 2001 bola uskutočnená kalibrácia etalónovej ionizačnej komory Exradin A4 v BEV v Rakúsku, čím sa získalo nadviazanie NE kermy fotónov vo vzduchu pre rtg. žiarenie na primárny etalón BEV v Rakúsku. Kalibrácia sa vykonala vo zväzkoch referenčných rtg. žiarení a fotónového žiarenia primárneho etalónu BEV podľa medzinárodných odporúčaní ISO 4037, BIPM-CCMRI a IEC 61267 pre energiu fotónov  $^{137}\text{Cs}$  a šesť rôznych sérií kvalít rtg. spektier, a to: úzke spektrá, široké spektrá, vysoké príkony kermy vo vzduchu, séria kvalít podľa CCRI a rádiodiagnostické kvality RQR a RQA.

V roku 2002 sa vykonala recalibrácia etalónových elektrometrov a tiež príslušné merania v rámci uchovávaní NE rtg. žiarenia. Zaviedlo sa tiež on-line meranie parametrov prostredia v rtg. ožarovni pomocou digitálneho multifunkčného systému ALMEMO. V súlade s novými organizačnými smernicami bolo vykonané aj prepracovanie pracovných postupov pre kalibrácie a overovanie meradiel kvality zväzkov, priamoodčítacích osobných dozimetrov a priestorových dozimetrov [35 až 37] a 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 bola vykonaná certifikácia tohto národného etalónu Slovenským metrologickým ústavom a vydaný Certifikát národného etalónu č. 015/02 zo dňa 25.7.2002 (jeho kópia je priložená v prílohe č. 2 tejto súhrnnej správy).

V roku 2003 bol modernizovaný softvér a časť hardvéru na diaľkové ovládanie pohybu polohovacej meracej lavice v rtg. ožarovni. Pri overovaní geometrických parametrov rtg. zväzku sa zistilo, že pri prerábaní meracej lavice došlo k posuvu osi rtg. zväzku voči geometrickej osi pohybu lavice i osi vytýčenej laserovým vytyčovacím zariadením.

Pre diagnostickú oblasť sa do ožarovacieho zariadenia CREOS sa v roku 2003 namiesto pôvodnej pokazenej hlavice inštalovala na účely potrieb pre kalibrácie a overovania meradiel kvality rtg. zväzku ako zdroj referenčného pulzného rtg. žiarenia nová rtg. hlavica VARIAN typ Emerald 125 s rtg. trubicou RAD-8.

V roku 2004 bola vykonaná revízia NE. Počas tohto roka sa vykonalo premeranie geometrických parametrov rtg. zväzkov produkovaných ožarovacím zariadením Philips MG 320 (premerané prierezy zväzkov v rôznych vzdialenostiach od ohniska rtg. zdroja pre rôzne kombinácie kolimačných clôn i energetických filtrov) a následne bola vykonaná rekonštrukcia zariadenia, ktorou sa dosiahlo zväčšenie prierezu zväzkov voči pôvodným hodnotám a lepšie stotožnenie osi zväzkov s osou ožarovacej lavice, ktorá bola vytýčená laserovým vytyčovacím zariadením. Súčasne boli laserovými vytyčovacími zariadeniami vytýčené v dvoch referenčných bodoch aj kolmice na os rtg. zväzku.

Začiatkom roka 2004 bola tiež vykonaná úprava elektrometrov KEITHLEY používaných s etalónovými ionizačnými komorami (zjednodušenie pripojenia napájacieho a signálneho kábla ionizačných komôr) a následne ich recalibrácia a recalibrácia etalónovej ionizačnej komôrky Exradin A4 s použitím etalónov elektrickej kapacity a národného etalónu kermy fotónov žiarenia gama vo vzduchu SMU. Prostredníctvom etalónových ionizačných komôr A7 a ND 1000 boli následne zmerané rozsahy reprodukováných hodnôt referenčných zväzkov rtg. žiarenia pre jednotlivé kvality série úzkych spektier.

Počas roku 2004 bolo vykonané aj prepracovanie a revízia pracovných postupov, dokumentov, prístrojového vybavenia i samotného národného etalónu rtg. žiarenia ako celku.

Na základe oponentúry revíznej správy bola schválená revízia tohto etalónu a bol dňa 21.2.2005 vydaný Certifikát národného etalónu č. 015/04 (jeho kópia je priložená v prílohe č. 3 tejto súhrnnej správy).



NE rtg. žiarenia v súčasnosti zahŕňa len veličiny: kerma vo vzduchu (a jej príkon) a priestorový dávkový ekvivalent (a jeho príkon) len pre rtg. žiarenia s kvalitami zo série úzkych spektier rtg. žiarenia v rozsahu stredných energií od 24 keV do 248 keV.

Pre plánované rozšírenie NE rtg. o veličiny osobných dávkových ekvivalentov boli vyhotovené potrebné fantómy, pripravené meradlá, pomocné zariadenia a pracovné postupy podľa požiadaviek príslušných noriem (ISO 4037-1 až 4) a pracovisko sa zúčastnilo medzinárodného porovnávacieho merania EUROMET 738 pre porovnanie v meraní osobných dávkových ekvivalentov ( $H_p(10)$ ), ktoré sa začalo realizovať v roku 2004, merania pracoviskom SMU boli vykonané v roku 2006, avšak dodnes nebolo organizátorom tohto porovnania (PTB, Nemecko) zverejnené jeho oficiálne vyhodnotenie, takže nemôžeme uskutočniť plánované rozšírenie NE o uvedenú veličinu.

Pripravené sú aj sady energetických filtrov pre produkciu série širokých spektier rtg. žiarenia aj časti sérií s nízkymi príkonmi a vysokými príkonmi kermy vo vzduchu podľa ISO 4037-1, a tiež pre RQA a RQB klasické rádiodiagnostické kvality podľa IEC 61267, pre väčšinu stredných energií ktorých, s výnimkou nízkych príkonov kermy vo vzduchu, bola okalibrovaná aj etalónová ionizačná komora A4. Pre kalibráciu i overovanie prístrojov na kontrolu kvality (kontrolu vybraných parametrov) rtg. zväzkov rádiodiagnostických prístrojov od roku 1998 vlastní SMU aj zdroj referenčného pulzného rtg. žiarenia (CREOS XHF-30) i meracie zariadenie (PTW-NOMEX) s príslušnými ionizačnými komorami, ktoré boli naviazané na príslušné zahraničné etalóny, avšak doteraz sme nemohli rozšíriť NE o tieto kvality, pretože doteraz sme nemohli potvrdiť našu meraciu schopnosť pre tieto kvality, keďže doteraz ešte nebolo vyhlásené medzinárodné porovnávacie meranie pre tieto rtg. kvality prístupné pre sekundárne etalóny, na ktorom by sme potvrdili svoju meraciu schopnosť. Okrem uvedeného sa pracuje aj na rozšírení NE o oblasť mamografických kvalít rtg. žiarenia, už niekoľko rokov sa aktualizujú požiadavky na nákup nevyhnutných etalónových meradiel, zdroja referenčného žiarenia, pomocných zariadení a fantómov, ktorých realizácia sa však stále odkladá.

Od vyhlásenia tohto národného etalónu do dnes už prešlo vyše 10 rokov, čo je dosť dlhý čas pre život zariadení na najvyššej meracej a reprodukčnej úrovni veličín, ktorá sa od národných etalónov vyžaduje, na to, aby sa za ten čas niektoré meradlá alebo časti zariadení pokazili alebo zastarali tak, že ich bolo nutné vymeniť, čo sa aj vykonalo, tak ako je to uvedené v tejto správe, no ďalšie opravy a obnova zariadení bude nevyhnutná aj v budúcnosti.

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

### **5.1 Umiestnenie NE rtg. žiarenia**

Slovenský metrologický ústav, Karloveská 63, Bratislava, Centrum ionizujúceho žiarenia, laboratórium dozimetrie, pavilón „I“, miestnosť č. 043a-c.

### **5.2 Osoby zodpovedné za NE rtg. žiarenia**

RNDr. Jaroslav Compel - zodpovedá za technický stav NE rtg. žiarenia, zabezpečuje a realizuje jeho uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj, t.j. realizuje nadviazanie jednotlivých súčastí NE na etalóny vyššieho rádu, kontroluje metrologické parametre NE, zabezpečuje ich uchovávanie a prenos na etalóny a meradlá nižšieho rádu, zabezpečuje údržbu NE, plánuje, navrhuje a realizuje rozvoj NE rtg. žiarenia v súlade s medzinárodným vývojom a potrebami spoločnosti.

Ing. Ján Bukovjan – zástupca, spolupracuje pri uchovávaní, zdokonaľovaní a rozvoji NE rtg.

## **6. Zoznam publikácií o NE rtg. žiarenia**

### **6.1 Dokumentácia k NE rtg. žiarenia**

- Pribylský P. a kolektív: Uchovávanie a zdokonaľovanie sekundárneho etalónu veličín kermu a dávky pre žiarenie X, Čiastková správa z výskumnej úlohy č. 200029/96, Bratislava 1996;
- Pribylský P.: Slovenský národný etalón kermu a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov. Záverečná výskumná správa. SMÚ, Bratislava 1998;
- Pribylský P.: Národný etalón kermu a dávkového ekvivalentu RTG žiarenia a ich príkonov. Zásady činnosti laboratória národného etalónu. SMÚ, Bratislava, máj 1998;
- Compel J.: Národný etalón rtg. žiarenia (rev. 1) - Pravidlá používania a uchovávanía. SMÚ, Bratislava, november 2004;
- Compel J.: Národný etalón rtg. žiarenia (rev. 2) - Pravidlá používania a uchovávanía. SMÚ, Bratislava, november 2010;

### **6.2 Publikácie vzťahujúce sa k NE rtg. žiarenia**

- Pribylský P.: Röntgenové žiarenie a národný etalón pre túto oblasť. In: Metrológia a skúšobníctvo 6/99, Bratislava 1999, s. 16-19;
- Bukovjan J., Compel J.: Centrum ionizujúceho žiarenia a akustiky. 7.2 Rtg. žiarenie. In: Slovenský metrologický ústav: Desať rokov existencie ústavu, SMU, Bratislava 2003, s. 76-79.
- Compel J.: PP 09/250 Pracovný postup na kalibráciu a overovanie meradiel kvality rtg. zväzkov v rozsahoch pre diagnostické aplikácie, verzia 02. Bratislava: SMU, júl 2004.
- Compel J.: PP 17/250 Pracovný postup na kalibráciu a overovanie priestorových dozimetrov pre 15 keV až 250 keV, verzia 02. Bratislava: SMU, júl 2004.
- Compel J.: PP 18/250 Pracovný postup na kalibráciu a overovanie priamoodčítacích dozimetrov pre 15 keV až 250 keV, verzia 02. Bratislava: SMU, júl 2004.
- Compel J.: Národný etalón rtg. žiarenia. Súhrnná správa pre revíziu národného etalónu kermu a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov. Bratislava: SMU, december 2004.
- Compel J.: Improvement of national standard of X radiation, XXVII. Days of radiation protection, Conference proceedings, 28.11.-02.12.2005, Liptovský Ján, Slovakia, p. 32.
- Compel J.: Znižovanie nehomogenity priečného prierezu rtg. zväzkov, XXVIII. Dny radiačnej ochrany, Sborník rozšírených abstraktů, 20.-24.11.2006 Luhačovice, ČR
- Compel J.: Dozimetria rtg. žiarenia, propagačný leták SMU, február 2010, výstava Industry Expo, Bratislava

### **6.3 Správy SMU o uchovávaní, zdokonaľovaní a rozvoji etalónu rtg. žiarenia**

Technický stav zariadení, práce pri udržovaní, uchovávaní, zdokonaľovaní a rozvoji NE kermu a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov sú popísané a boli periodicky publikované v nasledovných záverečných správach zodpovedných riešiteľov od vyhlásenia NE každoročne sa opakujúcej a pretrvávajúcej úlohy „Uchovávanie, zdokonaľovanie a rozvoj etalónu rtg. žiarenia“:

- Pribylský P.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národného etalónu žiarenia X, Záverečná správa úlohy 200 233, SMU, Bratislava december 2000;

- Bukovjan J.: Uchovávanie a rozširovanie národného etalónu kermu fotónov vo vzduchu pre X žiarenie, Záverečná správa úlohy 200 233, SMU, Bratislava december 2001;

- Bukovjan J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národného etalónu kermu fotónov vo vzduchu pre žiarenie rtg., výskum a vývoj etalónu elektrónov absorbovanej dávky vo vode, Záverečná správa úlohy 250 233, SMU, Bratislava december 2002;

- Bukovjan J.: Uchovávanie a zdokonaľovanie národného etalónu kermu fotónov vo vzduchu pre žiarenie rtg., výskum a vývoj etalónu elektrónov absorbovanej dávky vo vode, Záverečná správa úlohy 250 233, SMU, Bratislava december 2003;

- Compel J.: Uchovávanie národného etalónu rtg. žiarenia, Záverečná správa úlohy 250233 plánu výskumu a vývoja na rok 2004. Bratislava: SMU, december 2004;

- 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, SMU, Bratislava december 2005; 2006; 2007; 2008; 2009.

Informácie o výsledkoch prác pri uchovávaní, zdokonaľovaní a rozvoji NE kermu a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov boli periodicky publikované každoročne aj vo Výročných správach SMU za príslušné roky od vyhlásenia NE t.j. od r.1999 až do dnes.

Výsledky medzinárodných porovnávacích meraní sú zachytené v nasledujúcich správach a publikáciách:

- Pribylský P., Witzani J., Csete I.: Final report of the DUNAMET project D14 Intercomparison of the X-ray reference beams, Bratislava 1998;

- Pribylský P.: Röntgenové žiarenie a národný etalón pre túto oblasť. In: Metrológia a skúšobníctvo 6/99, Bratislava 1999, s. 16-19;

### **7. Zoznam dokumentov súvisiacich s NE rtg. žiarenia**

1. Pribylský P. a kolektív: Uchovávanie a zdokonaľovanie sekundárneho etalónu veličín kermu a dávky pre žiarenie X, Čiastková správa z výskumnej úlohy č. 200029 / 96, Bratislava 1996;

2. Pribylský P.: Slovenský národný etalón kerry a dávkového ekvivalentu žiarenia X a ich príkonov. Záverečná výskumná správa. SMÚ, Bratislava 1998;
3. Report on the measurements and results obtained during an experimental exercise at the PTB from August 28 to September 22, 1995 in partial fulfilment of Contract No. CS 9201 SR 4301 04A "Further development of state standard for dosimetry quantities of neutron and photon fields and beams", Braunschweig 1995;
4. Pribylský P.: Röntgenové žiarenie a národný etalón pre túto oblasť. Metrológia a skúšobníctvo 6/99, Bratislava 1999
5. ICRP 26 Recommendation of the ICRP, New York 1977;
6. ICRU 33 Radiation Quantities and Units, 1980;
7. ICRU 39 Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, 1985;
8. ICRU 51 Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, 1993;
9. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP 21, New York 1991;
10. ISO 4037, X and gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Dose Ratemeters and Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISOPHOT November 1995.
11. ICRP Publication 74 conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, 1995.
12. Gábriš F., Beláň T.: Expression of uncertainty for calibration and high precision measurements by the ionisation method, Rad. Prot. Dos., Vol.63, No. 2, 1996;
13. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva (Switzerland), 1993;
14. TPM 0050-92 Etalóny. Vyjadrovanie chýb a neistôt. Slovenský metrologický ústav, Bratislava, 1992;
15. TPM 0051-93 Stanovenie neistôt pri meraniach (1. a 2. diel). Slovenský metrologický ústav, Bratislava, 1993;
16. Šeda J. a kol.: Dozimetrie ionizujúciho záření, ALFA/SNTL, Praha 1983;
17. IEC 61267: 1994 Medical diagnostic X-ray equipment – Radiation condition for use in the determination of characteristic;
18. MSA 0104-97, EAL-R2, Vyjadrovanie neistôt merania pri kalibrácii, SNAS, Bratislava 1997;
19. MSA 0105-97, EAL-G23, Vyjadrovanie neistôt pri kvantitatívnych skúškach, SNAS, Bratislava 1997;
20. STN 01 0115: 2001 Terminológia v metrológii;
21. STN ISO 31-0: 1997 Veličiny a jednotky. 0. časť: Všeobecné zásady;
22. STN ISO 31-9: 1997 Veličiny a jednotky. 9. časť: Atómová a jadrová fyzika;
23. STN ISO 31-10: 1997 Veličiny a jednotky. 10. časť: Jadrové reakcie a ionizujúce žiarenie;
24. STN 01 1310: 1999 Veličiny a jednotky. Ochrana pred ionizujúcim žiarením;
25. STN ISO 4037-1: 1999 Röntgenové a gama referenčné žiarenie na kalibráciu dozimetrov a meradiel dávkového príkonu a na určenie odozvy ako funkcie energie fotónov Časť 1: Charakteristiky žiarenia a metódy produkcie;
26. STN ISO 4037-2: 2000 Röntgenové a gama referenčné žiarenie na kalibráciu dozimetrov a meradiel dávkového príkonu a na určenie odozvy ako funkcie energie fotónov Časť 2: Dozimetria na ochranu pred žiarením v energetickom rozsahu 8 keV až 1,3 MeV a 4 MeV až 9 MeV);
27. STN ISO 4037-3: 2002 Röntgenové a gama referenčné žiarenie na kalibráciu dozimetrov a meradiel dávkového príkonu a na určenie odozvy ako funkcie energie fotónov Časť 3: Kalibrácia priestorových a osobných dozimetrov a meradiel ich odozvy ako funkcie energie a uhla dopadu;

28. STN EN 61267: 2002 Zdravotnícke diagnostické röntgenové zariadenia. Podmienky žiarenia používané na stanovovanie charakteristík
29. STN IEC 61674: 2000 Zdravotnícke elektrické zariadenia - Dozimetre s ionizačnými komorami a/alebo polovodičovými detektormi používané pri röntgenologickom diagnostickom zobrazovaní
30. STN IEC 61676: 2002 Zdravotnícke elektrické zariadenia - Dosimetrické prístroje pre neinvazívne meranie napätia na röntgenke v rádiologickej diagnostike
31. STN IEC 61017-1: 2000 Prístroje na radiačnú ochranu: Prenosné, prepravné alebo pevne umiestnené prístroje na meranie žiarenia X alebo gama na monitorovanie životného prostredia, Časť 1: Merače príkonu
32. STN IEC 61017-2: 2000 Prístroje na radiačnú ochranu: Prenosné, prepravné alebo pevne umiestnené prístroje na meranie žiarenia X alebo gama na monitorovanie životného prostredia, Časť 2: Integrované zariadenia
33. STN IEC 60532: 2002 Prístroje na ochranu pred žiarením. Stacionárne merače dávkového príkonu, výstražné zostavy a monitory. Röntgenové žiarenie a žiarenie gama s energiami medzi 50 keV a 7 MeV
34. STN IEC 60846: 1992 Merače dávkového ekvivalentu a príkonu dávkového ekvivalentu žiarenia beta, X a gama
35. PP 09/250/02 Pracovný postup na overenie meradiel kvality rtg. zväzkov v rozsahoch pre diagnostické aplikácie, SMU, Bratislava 2002;
36. PP 17/250/02 Pracovný postup na kalibráciu a overovanie priestorových dozimetrov pre 15 keV až 250 keV, SMU, Bratislava 2002;
37. PP 18/250/02 Pracovný postup na kalibráciu a overovanie priamoodčítacích dozimetrov pre 15 keV až 250 keV, SMU, Bratislava 2002;
38. Industrial X-ray. System Documentation, Manual No. 9499 210 12841, Philips 1989, (manuál k rtg. zariadeniam Philips MG 164/324);
39. Instruction for use on the PTW – SHUTTER, PTW-Freiburg, Deutschland, 12/79 (návod na použitie PTW clony);
40. KEITHLEY Model 6517 Electrometer/High Resistance Meter. Getting Started Manual. Keithley Instruments, Cleveland, USA 1997 (návod na obsluhu a použitie elektrometra KEITHLEY typ 6517A);
41. KEITHLEY Model 6517 Electrometer/High Resistance Meter. Users Manual. Keithley Instruments, Cleveland, USA 1997 (užívateľská príručka elektrometra KEITHLEY typ 6517A);
42. KEITHLEY Model 6517 Electrometer/High Resistance Meter. Service Manual. Keithley Instruments, Cleveland, USA 1997 (servisná príručka elektrometra KEITHLEY typ 6517A);
43. ALMEMO – Manual V5. User Manual. AMR GmbH, Nemecko 2001 (užívateľská príručka meracích systémov ALMEMO);
44. Program „LAVICA“, Návod na obsluhu, VF, s.r.o., Žilina 2001.

## **Príloha 1: Osvedčenie o národnom etalóne číslo 015/98**

## **Príloha 2: Certifikát národného etalónu č. 015/02**

### **Príloha 3: Certifikát národného etalónu č. 015/04**



**Príloha 4: Národný etalón rtg. žiarenia - Pravidlá používania  
a uchovávania (rev. 2)**

## **Príloha 5: Správa o účasti na kľúčových a medzinárodných porovnaníach**

**Príloha 6: CMC tabuľky – časť obsahujúca veličiny odvodené od NE rtg.**