

# **SÚHRNNÁ SPRÁVA**

## **k previerke národného etalónu**

**Národný etalón:** NE 005/97 Národný etalón žiarivého toku a intenzity ožarovania

**Osoba zodpovedná  
za národný etalón:** RNDr. Peter Nemeček, CSc.

**Správu vypracoval:** RNDr. Peter Nemeček, CSc.

**Bratislava, december 2010**

## **Preambula**

Názov etalónu: Národný etalón žiarivého toku a intenzity ožarovania NE 005

Forma a dátum vyhlásenia etalónu: Osvedčenie o národnom etalóne pod číslom 005/97 zo dňa 30.decembra 1997 vydané ÚNMS v Bratislave, certifikovaný Slovenským metrologickým ústavom 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 dňa 19.07.2002.

Osoba zodpovedná za etalón: RNDr.Peter Nemeček, CSc.

### **1. Technicko - ekonomické zdôvodnenie potreby a výberu etalónu**

Etalón používaný v SMÚ je primárnym etalónom a predstavuje technickú realizáciu fyzikálnych zákonov, popisujúcich interakciu optického žiarenia s látkou. Realizácia predstavuje v súčasnosti, aj keď nie najpresnejší model na realizáciu rádiometrických stupníc, ale ekonomicky najvýhodnejší a z hľadiska potrieb užívateľov na Slovensku dostatočný systém metrologického zabezpečenia. V porovnaní so zahraničím naša koncepcia metrologického zabezpečenia umožňuje, aby užívateľ mal veľmi krátku líniu nadväznosti na národný etalón. Táto skutočnosť do značnej miery kompenzuje nedostatočnú presnosť a správnosť našich primárnych etalónov a umožňuje, aby užívateľ dostal rádiometrické veličiny s neistotami, ktoré sú zrovnateľné resp. menšie ako pri kalibrácii v zahraničných laboratóriách kalibračnej služby.

Etalón zabezpečuje správnosť a jednotnosť meraní spektrálneho žiarivého toku a intenzity ožarovania v Slovenskej republike. Každoročne sa na etalón nedvávajú referenčné etalóny a meradlá (optické detektory a rádiometre používané na meranie intenzity ožarovania a žiarivého toku) používané predovšetkým v strojárstve, medicíne, telekomunikáciách, meteorológii, ochrane životného prostredia, skúšobníctve

Rozsahy a neistoty etalónového zariadenia popísaného v tejto správe sú obmedzené len na rozsahy rádiometrických veličín ktoré boli odsúhlasené na zasadaní Poradného výboru pre fotometriu a rádiometriu (CCPR) v r.2001 pre účely tzv. kľúčových porovnávacích meraní, resp. na rozsahy v ktorých boli porovnávacie merania už vykonané.

Stupnice energie optického žiarenia realizované etalónom tvoria základ pre realizáciu fotometrickej stupnice svietivosti, stupnice teploty a spektrometrický komparátor spolu s kalibrovanými referenčnými detektormi je možné upraviť pre kolorimetrické merania a pre prenos vlnovej dĺžky na zdroje optického žiarenia.

## 2. Popis etalónu a s ním spojeného etalónového zariadenia

Primárnym fyzikálnym základom pre realizáciu stupnice energie optického žiarenia je Planckov zákon vo forme relácie medzi frekvenciou optického žiarenia  $\nu$  [ $s^{-1}$ ] a energiou  $E$  [ J ]:

$$E = h \cdot \nu$$

kde  $h = 6,626\ 07 \cdot 10^{-34}$  J.s je Planckova konštanta, resp. pri zohľadnení prostredia v ktorom sa žiarenie šíri:

$$E = h \cdot \frac{c}{n(\lambda) \cdot \lambda}$$

kde  $\lambda$ [m] je vlnová dĺžka a  $n(\lambda)$  je index lomu prostredia.

Teda pri znalosti frekvencie žiarenia môžeme určiť energiu kvanta. Ak poznáme účinnosť premeny energie kvanta na merateľnú zmenu stavu hmoty, môžeme vytvoriť kvantitatívny model prevodu meranej hodnoty veličiny na energiu.

### Etalón žiarivého toku a intenzity ožarovania tvorí:

**A.** Sústavy **spektrálnych výbojok** ktoré realizujú stupnicu vlnových dĺžok  $\lambda$  (nm) v požadovanom spektrálnom pásme a monochromátor ktorým sa táto stupnica interpoluje.

**B.** Sústavy **fotodiód s predikciou kvantovej účinnosti (QED)**. Tento rádiometer stelesňuje Planckov zákon o kvantovaní optickej energie a Einsteinov zákon o absorpcii fotónov nosičmi elektrických nábojov a je reprezentovaný vzťahom pre responsivitu  $R$  ( $A \cdot W^{-1}$ ) v tvare

$$R(\lambda) = K \cdot n(\lambda) \cdot \frac{\lambda \cdot e}{h \cdot c} = \left( n(\lambda) \cdot \prod_a \eta_a \right) \frac{\lambda}{1239,5} \quad (A \cdot W^{-1}, \text{ nm})$$

kde  $h = 6,626\ 07 \cdot 10^{-34}$  J.s je Planckova konštanta,  $c = 299\ 792\ 458$  m.s<sup>-1</sup> je rýchlosť svetla,  $e = 1,602\ 177 \cdot 10^{-19}$  C je elementárny náboj elektrónu tvoria fyzikálny základ etalónu,  $\eta_a$  sú korekčné faktory zohľadňujúce technické realizáciu spektorrádiometra a sú vyjadrené vnútornou a vonkajšou kvantovou účinnosťou a index lomu  $n(\lambda)$  zohľadňuje vplyv prostredia. Všetky hodnoty fyzikálnych konštánt sú podľa CODATA Bulletin 63 (1986).

Túto responsivitu potom môžeme použiť na základe merania elektrického prúdu  $I$  [A] pre výpočet neznámeho optického výkonu prenášaného žiarením so známou vlnovou dĺžkou  $\lambda$

$$\Phi(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{R(\lambda)} \quad (W; A, A \cdot W^{-1})$$

Schéma technickej realizácie tohto spektorrádiometra (vo verzii používanej v SMÚ s veľkoplošnými fotodiódami usporiadanými podľa obrázku) je na obr. B.

**C.** **Absolútny rádiometer s elektrickou kalibráciou** (ďalej **AREK**). Tento je založený na fyzikálnom princípe ekvivalencie tepelného účinku energie elektrického prúdu  $I$  (A) (meraná

veľičina) pretekajúceho cez odpor  $R_0$  (W) (Joulov zákon) a energie  $Q$  (J) absorbovaného optického žiarenia v tomto odpore za čas  $t$ .

$$\int R_0 \cdot I^2 \cdot dt = \left( \prod_i K_{Ai} \right) \cdot \int Q(t) \cdot dt = \Phi_{str} (\Omega, A; W)$$

kde koeficienty  $K_{Ai}$  predstavujú jednotlivé korekčné koeficienty, ktoré vyjadrujú rozdiely medzi fyzikálnym zákonom a jeho technickou realizáciou.

Termín "absolútny" sa vzťahuje na predpoklad, že rádiometer je nezávislý resp. minimálne závislý od parametrov optického žiarenia, predovšetkým od vlnovej dĺžky.

Technicky je tento etalón realizovaný ako blok so sendvičovou štruktúrou absorpčnej vrstvy, elektrického odporu a pyroelektrického elementu, ktorý sníma zmeny teplotného stavu bloku. Signál pyroelektrického detektora riadi zdroj elektrického prúdu tak, aby bola dosiahnutá ekvivalencia signálov pri elektrickom a radiačnom ohreve. Vzhľadom na použitie pyroelektrického detektora je nevyhnutnou súčasťou tohto typu AREK mechanický modulátor meraného žiarenia. Bloková schéma, znázorňujúca princíp používaného rádiometra v SMÚ je na obr. A.

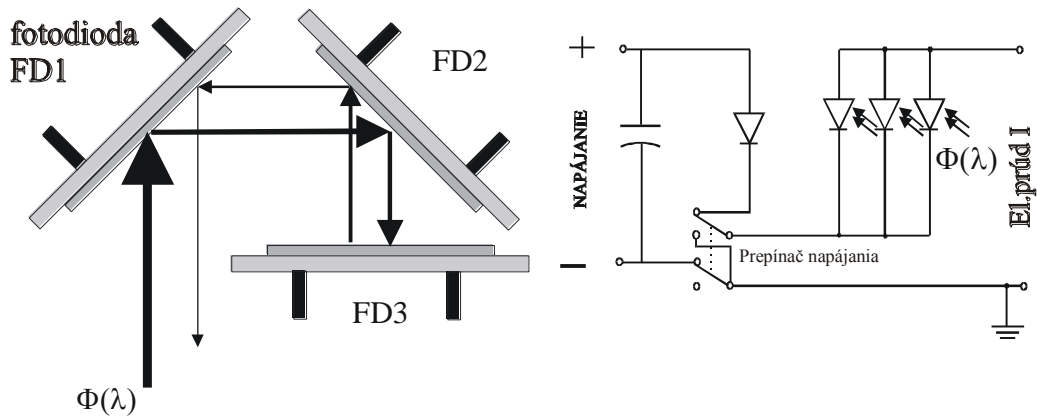
Zmeraním rozloženia lokálnej responsivity po povrchu detektora rádiometra možno určiť efektívnu responsivitu časti vymedzenej vstupnou apertúrou a získať tak korekčný faktor umožňujúci prechod od merania žiarivého toku (W) k intenzite ožarovania ( $W \cdot m^{-2}$ ).

**D.** Komparátor umožňujúci porovnávanie odozvy kalibrovaného detektoru s odozvou etalónového detektora v poli optického žiarenia s definovanými optickými a geometrickými parametrami. Spektrálny komparátor je tvorený:

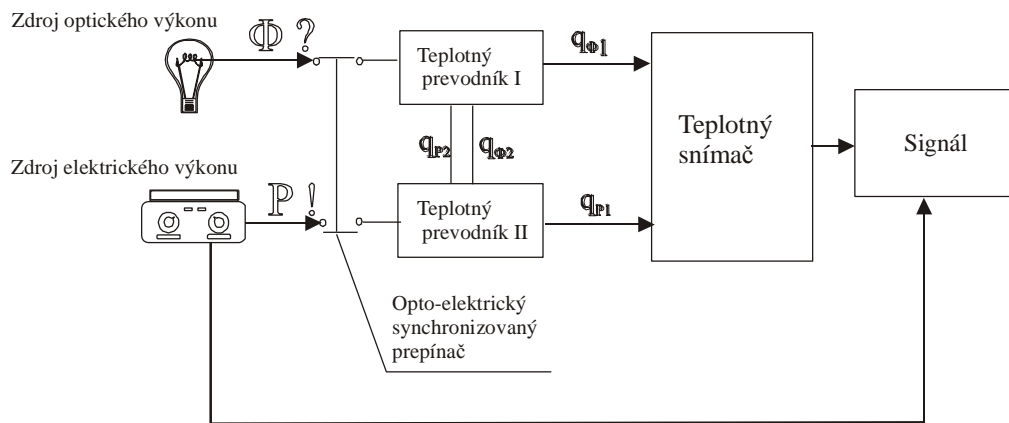
- zdrojmi spojeného optického žiarenia
- optickou sústavou zobrazujúcou zdroje optického žiarenia na vstupnú štrbinu monochromátora,
- monochromátor charakterizovaný spektrálnou šírkou pásma  $\Delta\lambda$  / nm, úrovníou rozptýleného žiarenia v pomere rozptýlené žiarenie ku monochromatickému žiareniu, numericou apertúrou N.A.,
- sústavou hranových hornopriepustných filtrov, blokujúcich žiarenie o spektrálnych vlnových dĺžkach zodpovedajúcich vyšším harmonickým difrakčným zložkám,
- optomechanickými prvkami upravujúcimi geometriu výstupného zväzku monochromátora a zobrazujúcimi upravený zväzok do referenčnej roviny komparátora
- mechanický polohovací systém umožňujúci nastavenie detektorov tak, aby ich aktívne plochy boli v referenčnej rovine a ich reprodukovateľnú výmenu.
- 

**E.** Elektronické meracie a napájacie prvky pre

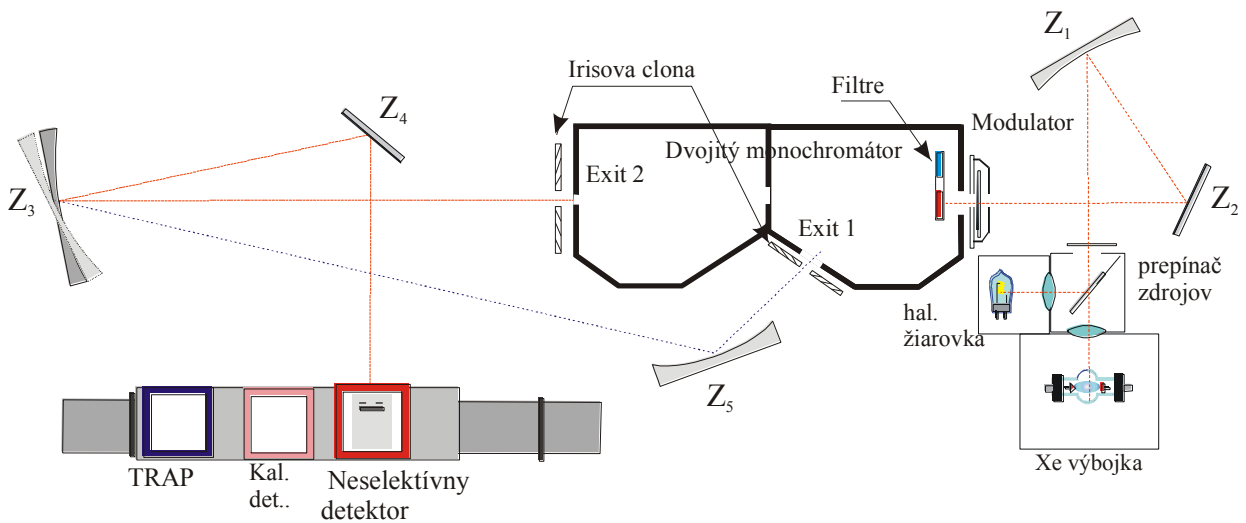
- napájanie zdrojov optického žiarenia zaisťujúcimi stabilitu ich optického výkonu po dobu merania,
- riadenie mechaniky monochromátora,
- meranie a primárne spracovanie signálu optických detektorov
- riadenie polohovacích prvkov komparátora,
- monitorovanie stavu prostredia v komparátore a úpravu teplotného stavu detektorov,



obr. A Optická a elektrická schéma detektoru typu TRAP



obr.B Schéma absolútného rádiometra s elektrickou kalibráciou



obr.C Spektrálny komparátor

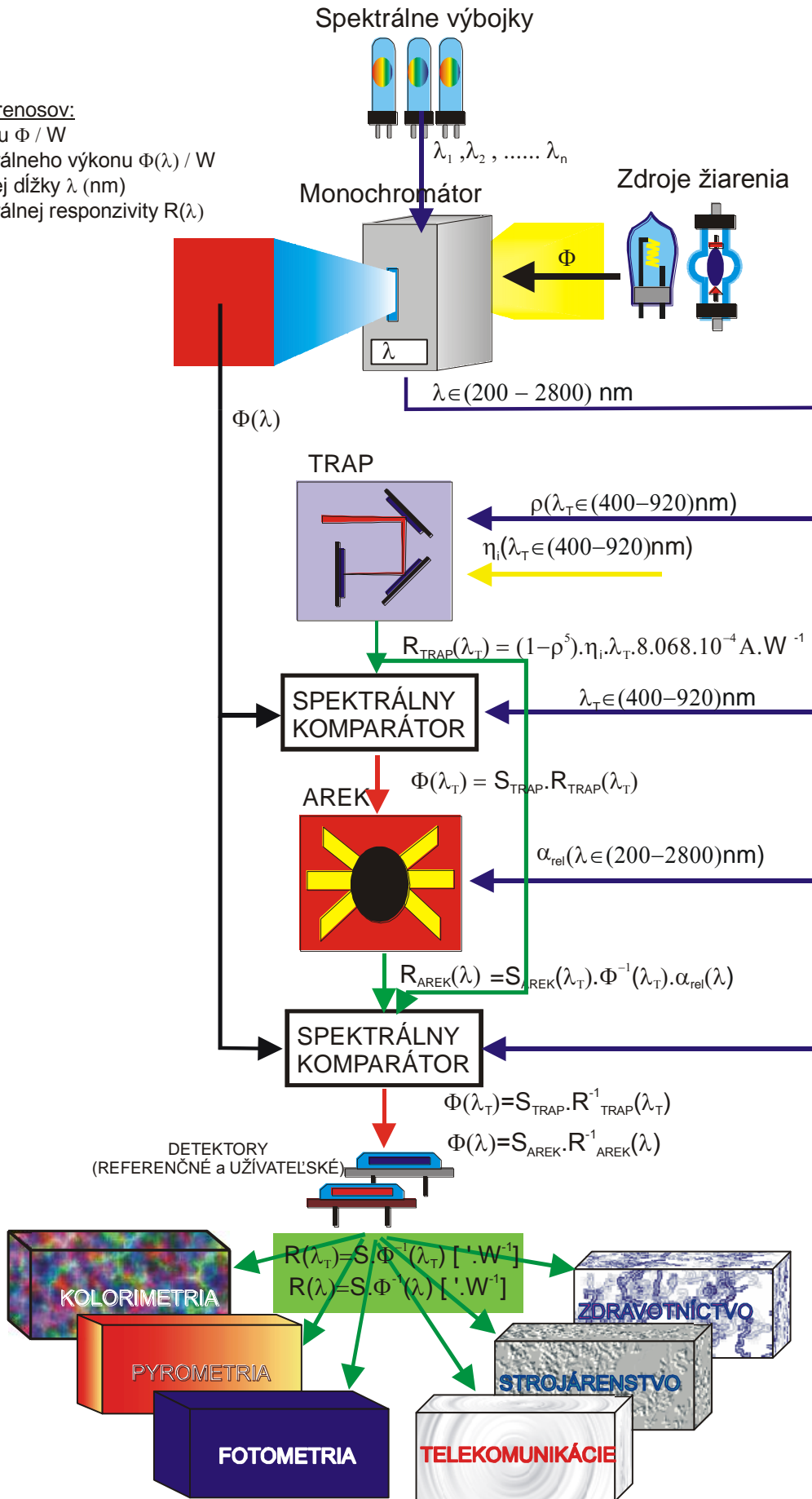
### 3. Realizácia stupnice žiarivého toku a intenzity ožarovania

Stupnice sú realizované uvedenými prostriedkami v nasledovnom reťazci prenosov stupnice vlnových dĺžok  $\lambda$  spektrálneho žiarivého toku  $\Phi(\lambda)$  a spektrálnej responzivity  $R(\lambda)$ .

1. Sústava spektorrádiometrov typu "TRAP". Táto sa skladá z rádiometra QED200 pre ktorý sa na základe údajov výrobcu sa predpokladá celková kvantová účinnosť  $\eta(\lambda)=0.9985$  v spektrálnom rozsahu 400 nm až 700 nm a rádiometrov KQ vlastnej výroby, u ktorých sa na základe literárnych údajov predpokladá vnútorná kvantová účinnosť  $\eta_i(\lambda)=0.9985$  v spektrálnom rozsahu 400 nm až 920 nm a vonkajšia kvantová účinnosť  $\eta_e(\lambda)=(1-\rho(\lambda))^5$  je stanovená meraním spektrálnej odraznosti  $\rho(\lambda)$  v spektrálnom rozsahu 400 nm až 920 nm. Na základe týchto hodnôt sú vytvorené modely pre spektrálne responzivity  $R(\lambda)$  týchto spektorrádiometrov. Sústava spektorrádiometrov je vzájomne porovnávaná za pomoci spektrálneho komparátora s cieľom verifikácie modelov responzivity a stanovenia ich stability.
2. Na stupnicu monochromátora sa prenású hodnoty vlnových dĺžok etalónových výbojok a za pomoci interpolačných metód sa vytvorí model stupnice vlnových dĺžok komparátora. Táto stupnica sa prenáša na relatívne spektrálne charakteristiky intenzity vyžarovania zdrojov.
3. Rádiometer Rs-5900. Pre rádiometer je známa sústava korekčných koeficientov vytvárajúcich model responzivity  $R_\Phi(\lambda)$ . Tento model sa verifikuje porovnaním merania spektrálnych žiarivých tokov s rádiometrami typu TRAP v spektrálnom rozsahu 550 nm až 920 nm za pomoci spektrálneho komparátora ktorý realizuje stupnicu vlnových dĺžok. Zvyšková korekcia daná priemerom rozdielov nameraných spektrálnych tokov rádiometrom Rs-5900 a rádiometrami typu TRAP sa uplatňuje ako korekcia responzivity rádiometra Rs-5900 pre danú konfiguráciu spektrálneho komparátora a pre spektrálny rozsah 300 až 12000 nm a nahradzuje systém korekcií  $K_A$ .
4. Stupnica responzivity referenčných rádiometrov potom v spektrálnom komparátore realizujúcom stupnicu vlnových dĺžok realizuje referenčnú stupnicu žiarivých tokov ktorá sa prenáša na sústavu referenčných spektorrádiometrov a na užívateľské spektorrádiometre vo forme spektrálnej responzivity.
5. Stupnica intenzity ožarovania  $E$  v širokopásmovom zmysle sa realizuje rádiometrom Rs-5900 ktorý je doplnený clonou s apertúrou 50,00 mm<sup>2</sup> ktorá je vzťažnou plochou pre meraný tok  $\Phi(\lambda)$  vypočítaný z responzivity  $R_E = R_\Phi(\lambda) \cdot K_A$

Legenda prenosov:

- █ výkonu  $\Phi / W$
- █ spektrálneho výkonu  $\Phi(\lambda) / W$
- █ vlnovej dĺžky  $\lambda$  (nm)
- █ spektrálnej rezpozivity  $R(\lambda)$



obr.D Schéma prenosu jednotlivých veličín v stupnici spektrálneho žiarivého toku

## 4. Technické parametre základných častí etalónu

### A. Stupnica vlnových dĺžok.

Vzhľadom na požadovanú správnosť realizácie vlnovej dĺžky 0,05 nm a požadovanú presnosť prenosu 0,1 nm na stupnicu monochromátora vyplývajúcu z reprodukovateľnosti nastavenia, nie je nutné špecifikovať sústavu výbojok typmi a výrobnými číslami, pretože tieto požiadavky spĺňa každá sada výbojok určená na kalibráciu fotospektrometrov. Stupnica je preto realizovaná definitórsky na základe známych publikovaných hodnôt vlnových dĺžok, prislúchajúcich vyžarovaniu jednotlivých prvkov sady.

### B. Sústava fotodiód s predikciou kvantovej účinnosti

Tabuľka 1

Názov časti	Typ	Výrobné číslo	Rok nadobudnutia	Životnosť v rokoch / rezerva
Detektor	QED – 200	316	1985	10 / NIE
Detektor	KQ	1	2003	5 / ANO
Ampérmeter / *	Keithly 6517	0650262	1996	10 / ANO

/\* Prístroj je zdieľaný s NE 020/B "Etalón teploty v rozsahu 962°C až 2200°C"

C. Absolútny pyroelektrický rádiometer s elektrickou kalibráciou (AREK ) typ Rs-5900 sa skladá z nasledujúcich častí:

Tabuľka 2

Názov časti	Typ	Výrobné číslo	Rok nadobudnutia	Životnosť v rokoch / rezerva
Detektor	RsP-590	9511-028	1994	15 / ANO
Elektronická jednotka	Rs-5900 RsA	9511-027	1994	15 / NIE
Mechanický modulátor	CTX-515	9511-029	1994	15 / NIE

### D. Spektrálny komparátor

Tabuľka 3

Názov časti / parametre	Typ	Výrobné číslo	Rok nadobudnutia	Životnosť v rokoch / rezerva
Monochromátor spektrálny rozsah: 200 nm až 5600 nm: spektrálne rozlíšenie $\Delta\lambda$ : 0,05 nm až 10 nm Reprodukovateľnosť $\lambda$ : 0,05 nm Rozptýlené svetlo: $<10^{-4}$ ohnisková vzd. 600 mm mriežky: T324HOU 25 2400 č./mm blaze 250 nm T3083RIU2 830 č./mm	DTM 300 VP	2674	1994	10 / ANO



blaze 1200 nm T303R2UO 300 č./mm blaze 2000 nm				
Halogénové žiarovky stabilita lepšia ako 0,1%/ hod.	OSRAM, Polaron		1994	300 hodín svietenia
Xe výbojky stabilita lepšia ako 0,2 %/ hod.	OSRAM		1994	100 hodín svietenia
Napájací zdroj pre halogénové žiarovky stabilita prúdu lepšia ako 0,05 % v celom rozsahu do 20 A.	Bentham 605		1994	10 / ÁNO
Napájací zdroj pre Xe výbojky	Bentham		1994	10 / NIE
Riadiaca jednotka pre monochromátor DTM 300 + softvér pre riadenie a zber dát	Bentham		1994	10 / NIE
Mechanické polohovače detektorov + softvér pre ich riadenie	Spindel Hoyer x.at XY100ST	30411006	2002	15 / NIE
Meracia zostava pre signály detektorov – prúd, napätie	Bentham 267,277,225		1994	10 / NIE
Osciloskop - pomalobežný	Tesla OPD 280	627	1975	10/NIE
Optický multimeter	ILX Lightwave OMM6810B	236478	2002	10 /NIE
Detektory Si 2 kusy, plocha 100 mm <sup>2</sup>	Hamamatsu 1337		2000	10 / NIE
Detektor GaP plocha 20 mm <sup>2</sup>	Hamamatsu		2000	5 / NIE
Detektor InGaAs plocha 20 mm <sup>2</sup>	Hamamatsu		2000	5 / NIE
Detektory termočlánkové 2 ks	VNIIOFI		1992	5 / NIE
Detektor Si plocha 100 mm <sup>2</sup>	EGaG		1985	10 / NIE
Karta IEEE 488 2 ks			1994,2003	5 / NIE
Softvér pre spracovanie signálov	LabWiev 6	licencia	2003	5 / NIE
Softvér pre vyhodnocovanie meraní	ORIGIN 6	licencia	2000	5 / NIE
Softvér pre vyhodnocovanie meraní	Mathcad Profess 2000	licencia	2001	5 / NIE
Počítač 2 ks	trieda PC		1997	5 / NIE
Temperačná komora pre detektory	Andover		1995	15 / NIE
Sada optických filtrov	Andover, Zeiss		1980, 2002	- / NIE
Sada reflexnej optiky	SMU		1985-1995	3 / ANO
Monitorovacie zariadenie ALMEMO tlak, teplota, vlhkosť	ALMEMO		2001	10 / ANO

## 5. Špecifikácia metrologických vlastností etalónu a jeho častí

Tabuľka 5 Neistoty rádiometra Rs-5900

Zdroj čiastkových neistôt typu B	Korekčný faktor	Štandardná neistota ( $k = 1$ )
<b>AREK</b>	<b><math>K_{Ai}</math></b>	
Meranie el.výkonu	0,9999	0,0025
Odraznosť	0,9979	0,0015
Tepelný odpor	0,9940	0,0030
Ohrev clony	1,0001	0,00005
Modulátor	1,0005	0,00005
Prídavný ohrev vodičmi	0,9997	0,0001
Záťaž predzosilňovačom	1,0006	0,0001
Záťaž detektorom	1,0000	0,0001
Plocha apertúry	1,0000	0,001
Responsivita po celom povrchu ( intenzita ožarovania )	1,0067	0,004
Responsivita pre zväzok priemeru 3 mm (žiarivý tok)	1,0000	0,0018
<b>Celkové korekčné faktory: <math>\prod K_{Ai}</math></b>		
<b>Korekčný faktor <math>K_A</math> pre intenzitu ožarovania</b>	<b>0,99936</b>	<b>0,0061</b>
<b>Korekčný faktor <math>K_A</math> pre žiarivý tok</b>	<b>0,9927</b>	<b>0,0046</b>

Tabuľka 6 Neistoty spektorrádiometrov QED a KQ

<b>QED</b>	<b><math>K_{Qi}</math></b>	
Vnútoraná kvantová účinnosť	0,9995	0,0003
Vonkajšia kvantová účinnosť	0,9985	0,0005
Plocha apertúry	1,0000	0,0005
<b>Korekčný faktor <math>K_Q</math> pre intenzitu ožarovania</b>	<b>0,997</b>	<b>0,0014</b>
<b>Korekčný faktor <math>K_Q</math> pre žiarivý tok</b>	<b>0,9980</b>	<b>0,0008</b>

Diskusia k jednotlivým zdrojom neistôt a spôsob ich základného určenia je v [1] a [2].

Tabuľka 7 Zdroje neistoty a kombinovaná štandardná neistota stupnice vlnových dĺžok v rozsahu 360 nm až 1800 nm

Zdroj neistoty	Štandardná neistota ( $k = 1$ )
Reprodukovateľnosť stupnice vlnovej dĺžky	0,10 nm
Spektrálna pološírka pri kalibrácii	0,05 nm
<b>Kombinovaná štandardná neistota realizácie spektrálnej stupnice</b>	<b>0,11 nm</b>

CMC hodnoty SMU v oblasti optickej rádiometrie zohľadňujú prenos jednotiek od NE na uvedené typy meradiel <http://www.bipm.org>

NMI: SMU, Slovakia Photometry and Radiometry							Date: 18. April 2006					
Calibration or Measurement Service				Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable		Expanded Uncertainty			
Service category	Quantity	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage factor	Level of Confidence
2.1.1	Responsivity spectral, power	Broad band detector	Double grating monochromator with standard radiometers			Reading/W	Wavelength Bandwidth Radiant power	300 nm to 400 nm 1 nm to 5 nm < 10 $\mu$ W	3 to 0.4 linearly with wavelength	%	2	95
2.1.1	Responsivity spectral, power	Broad band detector	Double grating monochromator with standard radiometers			Reading/W	Wavelength Bandwidth Radiant power	400 nm to 1000 nm 1 nm to 10 nm < 50 $\mu$ W	0,4	%	2	95
2.1.1	Responsivity spectral, power	Broad band detector	Double grating monochromator with standard radiometers			Reading/W	Wavelength Bandwidth Radiant power	1001 nm to 1600 nm 1 nm to 10 nm < 100 $\mu$ W	0.5	%	2	95
2.1.1	Responsivity spectral, power	Broad band detector	Double grating monochromator with standard radiometers			Reading/W	Wavelength Bandwidth Radiant power	1601 nm to 12000 nm 10 nm to 50 nm < 50 $\mu$ W	0.5 to 3 linearly with wavelength	%	2	95
7.2.0	Wavelength	Fiber optic source	Direct measurement by spectrum analyser	600	1700	nm			0.15	nm	2	95%
7.2.1	Wavelength	Optical spectrum analyser	Direct measurement of lines	600	1700	nm			0.03	nm	2	95%



## 6a. Výsledky medzinárodných porovnaní a významné výsledky výskumu v rokoch 1988-1997

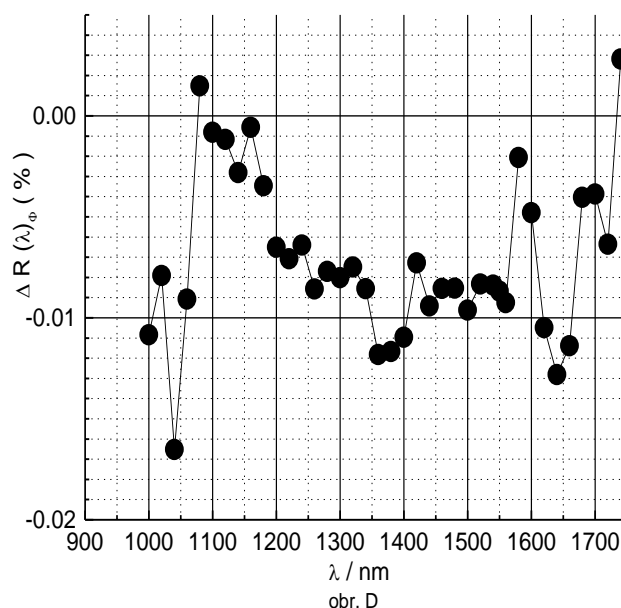
Stupnica intenzity ožarovania v spektrálnom rozsahu 360 nm až 2800 nm bola porovnávaná v rokoch 1988, 1990 a v roku 1997 s využitím termočlánkov typu VTh, PP, a Ts . Ako však ukázali experimentálne práce [ 3 ] tieto termočlánky a špeciálne typu VTh (ktoré boli v rokoch 1986 až 1991 používané ako sekundárne etalóny v ČSMÚ) sú značne nestabilné a majú vysoký teplotný koeficient responsivity ( $0,5$  až  $1 \text{ \%} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Pretože všetky zúčastnené laboratória mali v uvedenom čase realizované stupnice a zariadenia pre prenos tak, že kombinovaná štandardná neistota prenosu plus neistota etalónu bola  $1 \text{ \%}$ , ako vzťažná hodnota bola uvažovaná priemerná hodnota responsivity pre intenzitu ožarovania zmeraná v oboch zúčastnených laboratóriách. Relatívna odchýlka slovenského národného etalónu intenzity ožarovania AREK od týchto priemerných hodnôt sú v nasledujúcej tabuľke (do úvahy boli vzaté len merania s termočlámkami typu PP a Ts pri použití filtra typu WG 4).

Tabuľka 7

Rok	Prostriedok porovnávania	Porovnanie k rádiometrickej stupnici	Relatívna odchýlka (%)
		intenzita ožarovania	
1988	Ts-50.1 /5	ASMW Berlín	+0,1
1988	PP 2	VNIIOFI Moskva	+0,3
1990	PP1	ASMW Berlín	+0,6
1990	Ts-50.1/15	ASMW Berlín	+0,3
1996	TS-76 59/95	PTB Berlín	+0,34
		žiarivého toku	
1996	Ts-76 59/95	PTB Berlín	+0,25

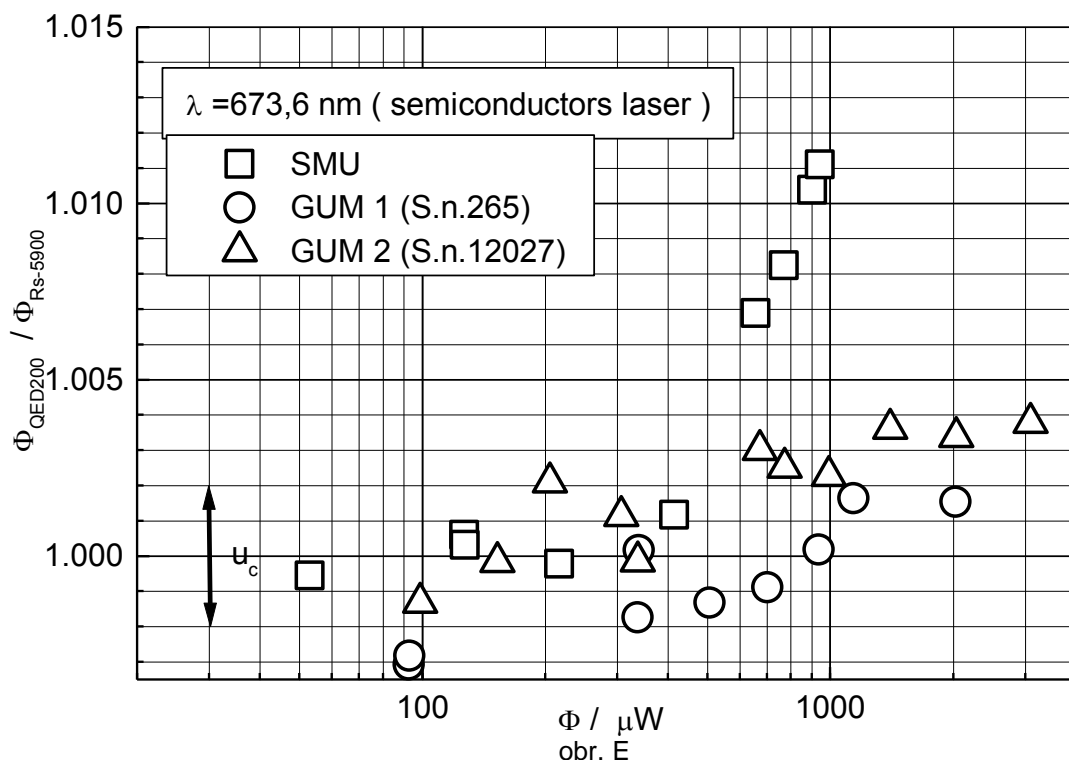
Úplná analýza výsledkov vrátane meraní s použitím termočlánkov VTh a zdrojov žiarenia ako prenosných etalónov je v správe [ 3 ]. Diskusia k výsledkom z roku 1996 je v [ 4 ].

Základné porovnávacie meranie stupnice spektrálneho žiarivého toku v tvare spektrálnej responsivity v rozsahu 360 nm až 1000 nm sa vykonalo v roku 1992 až 1994 v rámci porovnávacích meraní organizovaných CCPR BIPM (Burea International des Poids et Mesures ) Paríž. Výsledky týchto meraní boli prezentované v roku 1994 vo forme správy CCPR [ 5,6 ]. Analýza výsledkov v SMÚ sa vykonala v roku 1993 a jej výsledky sú obsiahnuté v internej správe SMÚ [ 7 ]. V roku 1996 sa vykonali porovnávacie merania spektrálnych stupníc responsivity pre žiarivý tok v spektrálnej oblasti 1000 nm až 1720 nm s laboratóriom optickej rádiometrie PTB Berlín (obr. D). Pri týchto meraniach sa použil komerčne vyrábaný germániový detektor J16Si-8 od fy.EG&G. Ako bolo



preukázané meraniami, tento detektor je významne nehomogénny a rozdiely v responsivitách možno prisúdiť skorej rozdielom v metódach prenosu jednotky žiarivého toku na jednotlivých pracoviskách (konkrétne nerovnakej geometrii zväzku žiarenia) ako rozdielnym responsivitám použitých etalónových rádiometrov.

Stupnica spektrálneho žiarivého toku bola v roku 1996 verifikovaná porovnaním etalónových prostriedkov SMÚ s rádiometrami typu QED, ktoré tvoria podobne ako v SMÚ etalónovú bázu laboratória optickej rádiometrie GUM Varšava. Tieto merania sú popísané v [ 4 ] a prezentované na obr. E vo vyjadrení pomeru zmeraných spektrálnych žiarivých tokov jednotlivých jednotlivými etalónovými rádiometrami. Z uvedených výsledkov je zrejmé, že náš rádiometer QED vykazuje významnú nelinearitu (supercitlivosť) na úrovniach žiarivého toku väčších ako 100  $\mu\text{W}$ .



Výsledky dosiahnuté v oblasti realizácie rádiometrických stupníc boli okrem už uvedených publikácií publikované v [ 8, 9 ].

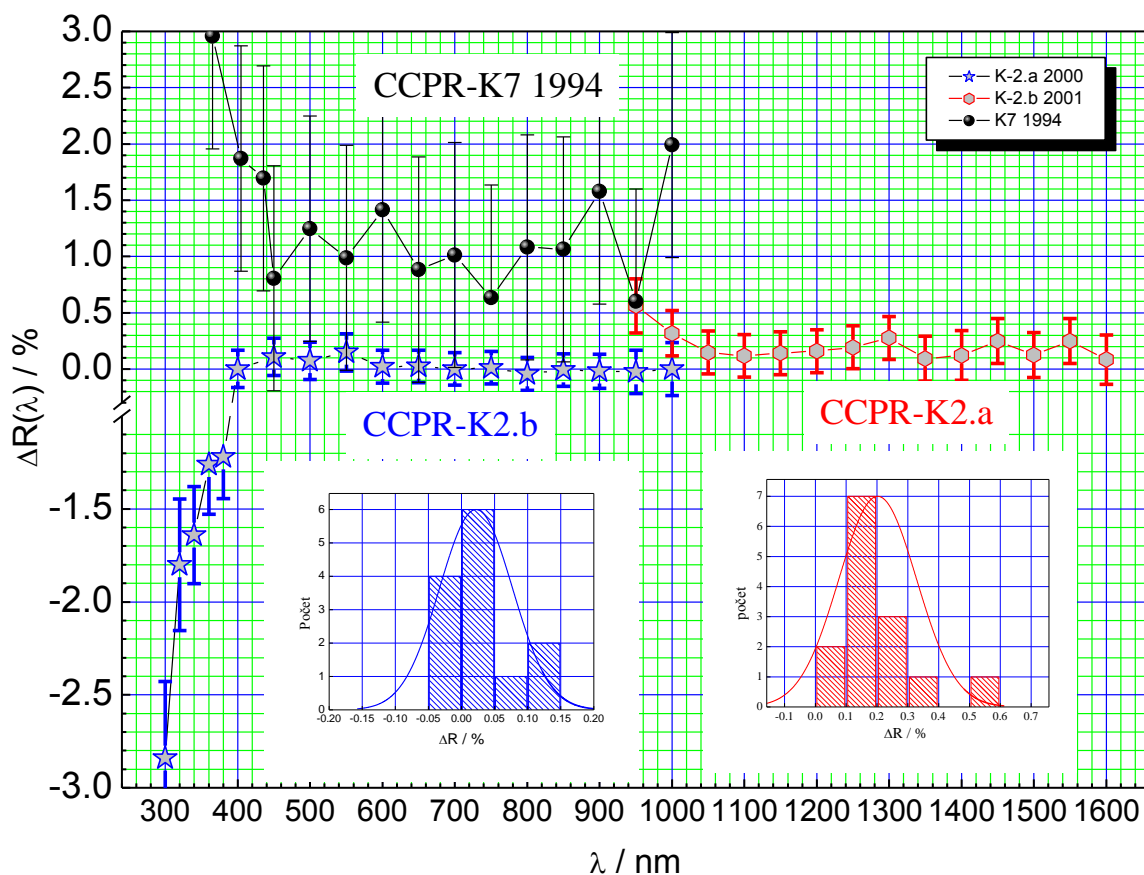
Metódy prenosu jednotiek spektrálneho žiarivého toku a intenzity ožarovania, spolu s analýzou zdrojov neistôt sú v prílohách [ 10, 11, 12 ]. Ako je zrejmé z rozsahov oboch primárnych etalónov, ich vzájomné porovnávanie umožňuje periodickú kontrolu stability ich základných metrologických charakteristík [13] a stanovenie dodatočných korekcií pre AREK tak, že jeho výsledná štandardná neistota typu B je pre spektrálny rozsah 360 až 2800 nm daná len jeho spektrálnou charakteristikou t.j.  $u_B$  je v rozsahu 0,1 až 0,2 %. Na rozšírenie stupnice v rozsahu intenzity ožarovania od  $10^2 \text{ W.m}^{-2}$  až  $10^4 \text{ W.m}^{-2}$  slúžia neselektívne termočlánky typu PP 1. Neselektívnosť týchto termočlánkov je tiež možné využiť na rozšírenie širokopásmovej stupnice intenzity ožarovania do oblasti nad 2800 nm, a nahradiť tak využitie čierneho telesa ako primárneho etalónu širokopásmovej intenzity ožarovania [15]. Vývoj v oblasti primárnych etalónov v oblasti optickej rádiometrie si však v nasledujúcich rokoch určite vyžiada rekonštrukciu uvedeného systému metrologického zabezpečenia optickej rádiometrie s ohľadom na potrebu použitia nových technických prostriedkov.

## 6b. Výsledky medzinárodných porovnaní a významné výsledky výskumu v rokoch 1997-2010

V uvedenom období sa práce sústredili na problematiku spresňovania stupnice vlnových dĺžok a prenosu stupnice žiarivého toku, predovšetkým v infračervenej oblasti spektra, kde narastali požiadavky na presnosť kalibrácie optických spektrorádiometrov používaných v optických telekomunikáciách [17,19,20]. Riešila sa hlavne problematika korekcií zohľadňujúcich spektrálnu šírku monochromátora [17,18]. V roku 1998 bolo laboratórium optickej rádiometrie spojené s laboratóriom vysokých teplôt a výsledky presného merania spektrálnych charakteristík detektorov optického žiarenia boli účinne aplikované pri rekonštrukcii modelovej štruktúry etalónového fotoelektrického pyrometra [21]. Výsledky týkajúce sa výskumu a ostatných prác vykonaných v oblasti optickej rádiometrie sú taktiež každoročne zhrnuté vo výročnej správe laboratória.

V uvedenom období sa laboratórium zúčastnilo dvoch kľúčových porovnávacích meraní a to: CCPR K-2a "Spectral Responsivity over range from 900 nm to 1600 nm", kde pilotným laboratóriom bol NIST U.S.A. a CCPR K-2.b "Spectral Responsivity measurements in the wavelength range 300 nm to 1000 nm", kde pilotným laboratóriom bolo BIPM Paríž.

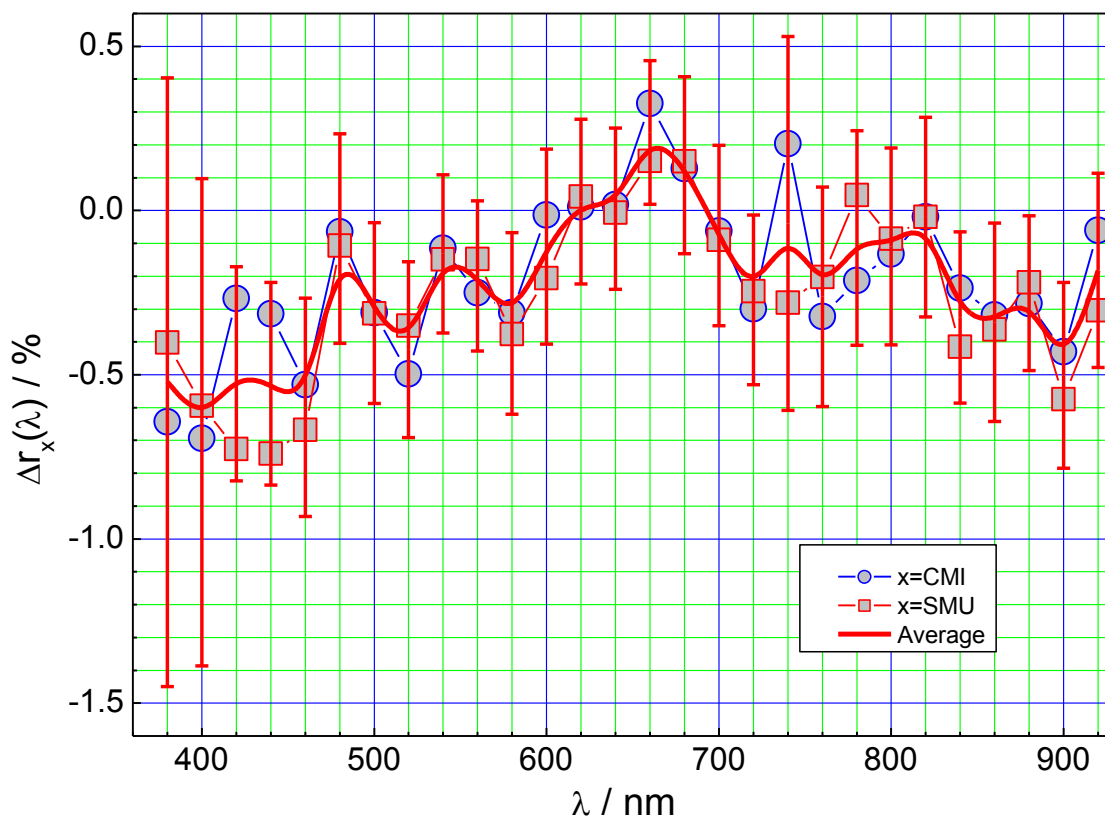
V súčasnosti sú obe porovnávania uzavreté [22,23] (v roku 2006 boli na zasadnutí CCPR



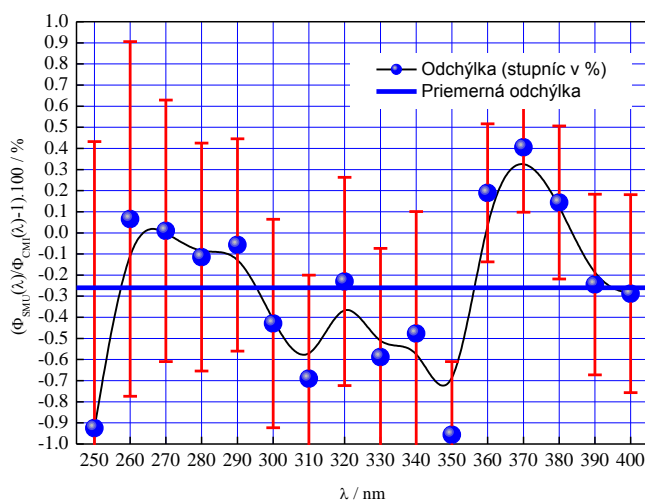
obr. G Výsledky porovnávacích meraní stupníc responzivity vo forme relatívnej odchýlky responzivity meranje v SMU od referenčnej hodnoty a rozloženie četnosti odchýlok pre porovnávacie merania K-2.a a K-2.b.

odsúhlasené znenia Draftov B pre obe porovnania). V rokoch 2001 až 2002 boli v rámci projektu

Dunamet č.37 vykonané porovnávacie merania stupníc rezpozivity v spektrálnom rozsahu 380 nm až 920 nm medzi SMU Bratislava a CMI Praha [24]



obr.H Relatívna odchýlka stupnice rezpozivity CMI od stupnice SMU pre detektory Hamamatsu 1337 s vyznačením intervalu štandardnej neistoty pre obe laboratória.



obr. I Odchýlka stupnice rezpozivity SMU od stupnice NPL so štandardnými neistotami.

Výsledky a ich analýza bola vykonaná v roku 2003 [25]. Na základe tejto analýzy bolo rozhodnuté, že stupnice rezpozivity v spektrálnej oblasti do 400 nm resp. 450 nm budú realizované rádiometrom Rs-5900 a pri spektrálnych pološírkach minimálne 5 nm. Tento postup nám umožní vyvarovať sa zvýšených hladín rozptýlené svetla v monochromátore. Tieto závery boli verifikované porovnávacím meraním rezpozivity detektoru typu InGaP vo vlastníctve CMI Praha ktorý bol okalibrovaný v NPL Teddington (obr.I).



## 7. Úchovávanie a údržba etalónu

### Umiestnenie etalónu:

laboratóriu č. 218 v budove H Slovenského metrologického ústavu, Karloveská 63, 842 55 Bratislava.

### Podmienky uchovávaní a používania:

Etalón je umiestnený v laboratóriu s klimatizáciou vo vetve H (nemá vlastnú klimatizáciu).

Rozsah teploty pri skladovaní: 18°C až 25°C

Rozsah vlhkosti pri skladovaní a používaní: 20% až 70% relatívnej vlhkosti.

Rozsah teploty pri prevádzke: 20°C až 23°C s maximálnou zmenou 0,2°C za hodinu.

Pri skladovaní sú apertúry rádiometrov chránené viečkami alebo okienkami. Prepravujú sa vždy v ochranných alebo transportných obaloch.

Čistenie okienok spektorrádiometrov sa vykonáva len v prípade potreby lieh-éterom alebo ofukovaním vzduchom s ručného balónika.

Prevádzka etalónových zariadení sa riadi technickou dokumentáciou dodanou výrobcom.

Pre údržbanie parametrov etalónu sú vykonávané nasledovné činnosti v intervaloch:

<b>Činnosť</b>	<b>Interval</b>
Kalibrácia stupnice vlnových dĺžok monochromátora	2 roky
Kalibrácia rádiometra Rs-5900 so spektorrádiometrom typu TRAP	1 rok
Porovnanie rádiometra QED 316 a KQ	1 rok
Kalibrácia referenčných spektorrádiometrov typu Si	3 roky
Kalibrácia referenčných rádiometrov typu InGaAs	3 roky
Kalibrácia referenčných rádiometrov typu PP 1	5 rokov
Kalibrácia referenčných rádiometrov typu InGaP a GaP	3 roky
Kontrola rozptýleného svetla monochromátora	3 roky
Meranie relatívnej lokálnej responzivity detektora Rs-595	5 rokov

Tieto činnosti sú každoročne plánované a výsledky sú uchovávané v Správe o činnosti laboratória za uvedený rok.

## Literatúra:

- [ 1 ] Manuál k rádiometru Rs-5900, 12802 Rev B , Januar 1991, Laser Probe
- [ 2 ] Manuál k rádiometru QED-200, 79-10-023 Revision N/C, 4-14-86, United Detector Technology
- [ 3 ] Československý etalón intenzity ožarovania, správa č.1190, ČSMÚ, Bratislava, 1990, 29 str.
- [ 4 ] Nemeček, P.: Správa o činnosti lab. opt. rád. ... ,SMÚ, Bratislava, 1996, 30 str.
- [ 5 ] Köhler R. , Goebel R. , Pello R. : Report on international comparison of spectral responsivity of silicon detectors. Rapport BIPM - 94 /9, document CCPR / 94 - 2, BIPM Paris, 1994
- [ 6 ] Köhler R. , Goebel R. , Pello R. : Results of an international comparison of spectral responsivity of silicon photodetectors. Metrologia, vol.32, 1966, No.6, p. 463 - 468
- [ 7 ] Nemeček, P.: Spektrorádiometrická stupnica v SMÚ. interný materiál SMÚ, SMÚ, Bratislava, 1993, 22 str.
- [ 8 ] Jediný V., Krempaský J., Nemeček P.: Medzinárodné porovnanie spektrálnej stupnice realizovanej v SMÚ Bratislava. In:„Optické komunikace O.K.94,, Praha, 1994, s.85 - 89
- [ 9 ] Nemeček, P.: Radiometričeskaja škala ČSMÚ i metod ijo proverky. In: „ 8.vsesajuznaja naučno techničeskaja konferencia Fotometrija i ejo metrologičeskoje obezpečeniye „, Moskava 1990, s.5
- [10] Nemeček, P.: Spektrorádiometrická stupnica žiarivého toku pre optické rádiometre. Interný materiál SMÚ, SMÚ, Bratislava, 1997, 9 str.
- [11] Nemeček, P.: Kalibrácia monochromátora. Interný materiál SMÚ, SMÚ, Bratislava, 1994, 13 str.
- [12] Nemeček,P.: Optická rádiometria. In: Stanovenie neistôt pri meraniach vo fotometrii a rádiometrii. SMÚ, seminár SMS, Bratislava, 1994, s. III / 1-III / 41
- [13] Nemeček, P.: Správa o činnosti lab. opt. rád. ... ,SMÚ, Bratislava, 1995, 21 str.
- [14] Nemeček,P.: Prostriedky realizácie a verifikácia rádiometrickej stupnice. Československá standardizace, **14**, 1989, č.1, s. 20 -28.
- [15] Nemeček, P.: Primárne etalóny pre metrologické zabezpečenie optickej rádiometrie. Metrologia a skúšobníctvo **1**, 1996, č. 4, s.5-9
- [16] Nemeček, P.: Rádiometre ako primárne etalóny v optickej rádiometrii. Jemná mechanika a optika, **43**, 1998, č.3. s.76-80
- [17] Nemeček,P., Rastislav Nemeček: Kalibrácia optických spektorrádiometrov JMO, č.3, **47**,2002, str.74-78
- [18] R.Nemeček, P.Nemeček: Spectral bandwidth correction by responsivity measurement. SPIE Proceedings vol.3820 "11<sup>th</sup> Slovak-Czech-Polish Opt. Conf. on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics", 2001, Ed. Hrabovský, Štrba, Urbanczyk, str. 322 –328
- [19] Hrubčín, L., Nemeček, P., Hrčka, D.: Kalibrácia optických reflektometrov v kalibračnom laboratóriu Slovenských telekomunikácií, a.s., Telemont, o.z.. In: Optické telekomunikácie 2001, Praha 2001, s. 66-70
- [20] Nemeček,P. Hrubčín L.: Metrologické zabezpečenie optických veličín na Slovensku so zvláštnym prihliadnutím k meradlám pre vláknovú optiku, Telekomunikácie a podnikanie, vol. 3, č.8, str. 15-18( slovenská a anglická verzia)
- [21] Nemeček, P.: Základné korekcie etalónového fotoelektrického pyrometra. JMO č.7-8, 46, 2001, str. 241-246
- [22] Steven Brown and all: Report on the CCPR K-2.a Key Comparison of Spectral

- Responsivity over range from 900 nm to 1600 nm, Draft A, NIST, U.S.A. Jan.2003
- [23] Goebel, R., Stock,M.: Report on the Key Comparison CCPR K-2.b of Spectral Responsivity Measurements in the wavelength range 300 nm to 1000 nm, Draft B, BIPM, August 2004
- [24] Nemeček, P., Šmíd M.: Porovnanie stupníc spektrálnej responzivity medzi Českým metrologickým inštitútom a Slovenským metrologickým ústavom. Metrologie, Praha, 2002, 1, roč.11, str. 18-21