



CERTIFIKÁT TYPU MERADLA

č. 073/1/441/19 zo dňa 24.10.2019

Slovenský metrologický ústav v súlade s ustanovením § 6 ods. 2 písm. k) zákona č. 157/2018 Z. z. o metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len "zákon") na základe žiadosti číslo 361654 vydáva podľa ods. 1 § 21a ods. 1 a ods. 2 § 56 zákona toto rozhodnutie, ktorým

schvaľuje typ meradla

Názov meradla: Neutrónová sonda
Typ: LB 6411
Žiadateľ: CANBERRA – PACKARD, s.r.o., Žilina
IČO: 31 576 303
Výrobca: Berthold Technologies GmbH & Co, Nemecko

Týmto certifikátom sa podľa § 20 ods. 1 zákona potvrdzuje, že uvedený typ meradla vyhovuje svojimi technickými charakteristikami, metrologickými charakteristikami a konštrukčným vyhotovením požiadavkám na daný druh určeného meradla ustanovenými v prílohe .č.64 " Meradlá dozimetrických veličín ionizujúceho žiarenia" k vyhláske ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej (ďalej len vyhláska č. 161/2019 Z. z.).

Základné technické charakteristiky a metrologické charakteristiky meradla a výsledky technických skúšok a zistení o splnení požiadaviek na daný druh meradla sú uvedené v protokole č. 038/300/441/19 zo dňa 16. 10. 2019 vydanom Slovenským metrologickým ústavom.

Uvedenému typu meradla sa prideluje značka schváleného typu:

TSK 441/19 - 073

Dovozca je povinný podľa § 12 ods. 3 zákona umiestniť na meradle značku schváleného typu a podľa § 26 ods. 4 zákona zabezpečiť prvotné overenie meradla pred jeho uvedením na trh.

Platnosť do: 24. októbra 2029

Poučenie: Proti tomuto rozhodnutiu možno podať do 15 dní odo dňa jeho doručenia odvolanie na Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, Štefanovičova 3, P.O.BOX 76, 810 05 Bratislava prostredníctvom Slovenského metrologického ústavu.

Mgr. Roman Kováč
generálny riaditeľ

Popis meradla:

Neutrónová sonda LB 6411 je navrhnutá pre meranie priestorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ podľa odporúčani ICRP60. Sonda je extrémne senzitívna a dá sa používať kdekoľvek, kde môže človek prísť do kontaktu s neutrónovou radiáciou.

Sonda pozostáva z cylindrickej ^3He proporcionálnej meracej trubice, ktorá je obklopená moderátorom tvaru gule z polyetylénu. Meracia trubica je senzitívna hlavne na termálne neutróny..

Neutrónová sonda obsahuje:

- Guľu moderátora s priemerom 250 mm
- ^3He proporcionálny detektor umiestnený v strede gule
- Schránku s držiakom obsahujúcou predzosilňovač s diskriminátorom a generátor vysokého napätia

Základné technické charakteristiky:

Detektor:	^3He proporcionálna meracia trubica
Hmotnosť :	9,2 kg
Priemer moderátora:	250 mm
Materiál moderátora:	nízkotlakový polyetylén s prídavkom 2 % uhlíka
Denzita moderátora:	0,95 g/cm ³
Rozmery trubice:	Ø 40 mm x 100 mm
Materiál krytu meracej trubice:	nehrdzavejúca oceľ
Hrúbka steny trubice:	1 mm
Aktívna dĺžka trubice:	≈ 40 mm
Aktívny objem trubice:	≈ 45 cm ³
Merací plyn:	$^3\text{Hélium}$ /Metán
Objem meracieho plynu:	90 cm ³ (60µg ^3He)
Pracovné napätie:	2650 V
Prevádzková teplota:	-10°C až +50°C
Prevádzková vlhkosť:	< 90%
Napájanie UMo:	4 kusy nabíjateľných batérií Mignon 1,2 V alebo napájanie s nabíjaním batérií cez sieť

Základné metrologické charakteristiky:

Veličina:	priestorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$ pre neutróny v Sv/h
Energetický rozsah neutrónov:	od energie termálnych neutrónov do 20 MeV
Energetická závislosť:	50 keV – 10 MeV ($\pm 30\%$ max odchýlka)
Merací rozsah:	100 nSv/h – 100 mSv/h
Pozadie:	rádovo 10 nSv/h
γ senzitivita:	< 40 µSv/h pri 10 mSv/h v poli ^{137}Cs
Mŕtva doba:	5 µs
Detekcia senzitivity pre termálne neutróny:	približne 90%

Overenie meradla:

Overenie sa bude vykonávať za účelom potvrdenia zhody s metrologickými požiadavkami na meradlo priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov.

Meradlo sa overuje minimálne v rozsahu overenia relatívnej odozvy meradla a štatistických fluktuácií indikovanej odozvy v zmysle normy IEC 61005:2014.

Čas platnosti overenia je podľa položky č. 8.4 prílohy č. 1 vyhlášky č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole 2 roky.

Umiestnenie overovacej značky:

Overovacia značka, sa umiestni na bočnej strane meradla.

Tento certifikát môže byť rozmnožovaný len celý a nezmenený.

Rozmnožovať jeho časti možno len s písomným súhlasom Slovenského metrologického ústavu.

Certifikát je vyhotovený v dvoch rovnopisoch, jeden pre zákazníka a druhý pre Slovenský metrologický ústav.

PROTOKOL O POSÚDENÍ TYPU MERADLA

č.: 038/300/441/19

Názov meradla: Neutrónová sonda

Typ meradla: LB 6411

Značka schváleného typu: TSK 441/19-073

Výrobca: Berthold Technologies GmbH & Co
Calmbacher Str. 22
75323 Bad Wildbad, Nemecko

Žiadateľ: CANBERRA-PACKARD, s.r.o.
V. Tvrdeho 790/13, 010 01 Žilina

Evidenčné číslo žiadosti: 361 654

Počet strán: 14

Počet príloh: 0

Miesto a dátum vydania: Bratislava, 16.10.2019

Vypracoval:

Skontroloval:

Protokol schválil:

1. Všeobecné ustanovenie

Tento protokol je podkladom na vydanie rozhodnutia o schválení typu meradla podľa § 21 ods. 1 zákona a § 56 ods. 1 a 2 č. 157/2018 Z.z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len "zákon o metrologii") na typ meradla:

Neutrónová sonda LB 6411 s univerzálnym monitorom LB 134 UMo II

1.1 Rozsah posudzovania

Meradlo svojím charakterom zodpovedá:

určenému meradlu podľa položky č. 8.4 prílohy č. 1 a prílohy č. 64 "Meradlá dozimetrických veličín ionizujúceho žiarenia" k vyhláske ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole (ďalej len "vyhláska 161/2019 Z. z.").

Meradlo bolo posudzované z hľadiska požiadaviek na daný druh meradla ustanovených predpisom:

Typová skúška bola vykonaná v súlade s odporučeniami uvedenými v normách:

- IEC 61005:2014 Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters
- ISO 8529-1:2001 Reference neutron radiations - Part 1: Characteristic and methods of production
- ISO 8529-2:2000 Reference neutron radiations - Part 2: Calibration Fundamentals of radiation protection devices related to the basic quantities characterising the radiation field
- ISO 8529-3:1998 Reference neutron radiations - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and determination of their response as a function of neutron energy and angle of incidence

1.2 Údaje o technickej dokumentácii použitej pri posudzovaní:

Užívateľská príručka LB 134, Univerzálny Monitor II, ID No.: 62688BA2, Rev. No.: 02, 08.04.2016.

Užívateľská príručka Neutrónová sonda LB 6411, ID No.: 82042BA2, Rev. No.: 01, 01.05.1996.

Popis zariadenia Neutron Probe LB 6411.

Popis zariadenia LB 134 UMo II.

EC Declaration of Conformity CE 30036, LB 6411, vydaný Berthold Technologies GmbH & Co. KG 22.05.2006.

Dokumentácia je uložená v archíve odboru metrologie SMÚ.

1.3 Údaje o dokladoch použitých pri posudzovaní:

Žiadosť o schválenie typu meradla – ev. č. 361 654 zo dňa 24.06.2019.
Dokumentácia je uložená v archíve odboru metrológie SMÚ.

1.4 Údaje o vzorkách určeného meradla:

Pri schvaľovaní typu meradla LB 6411 bola k dispozícii vzorka meradla:

Výrobné číslo LB 6411: 7221, Rev. 19

Výrobné číslo LB 134 UMo II: 10-1335, Rev 01

Meradlo bolo dodané a skúšané v nasledovnom vyhotovení:

LB 6411 s prídavným zariadením LB 134 UMo II - verzia firmvéru v1.04

2. Popis meradla:

Technický popis meradla:

Neutrónová sonda LB 6411 je navrhnutá pre meranie priestorového dávkového ekvivalentu $H^*(10)$ podľa odporúčaní ICRP60. Sonda je extrémne senzitívna a dá sa používať kdekoľvek, kde môže človek prísť do kontaktu s neutrónovou radiáciou.

Sonda pozostáva z cylindrickej ^3He proporcionálnej meracej trubice, ktorá je obklopená moderátorom tvaru gule z polyetylénu. Meracia trubica je senzitívna hlavne na termálne neutróny. Aby bola trubica schopná detegovať neutróny s vyššou energiou, musia byť tieto neutróny „termalizované“ v moderátore. Počas tohto procesu rýchle neutróny prenesú svoju energiu v individuálnych kolíziách na atómové jadrá v materiáli moderátora, a preto sú spomaľované. Odozva na neutróny s energiou od 0,025 eV (tepelné neutróny) do 20 MeV bola optimalizovaná tak, aby počet impulzov za jednotku času pre každú energiu neutrónu bol dostatočne proporcionálny k ekvivalentu dávky. To zaisťuje, že užívateľ dostane správne výsledky aj v neutrónovom poli s neznámym spektrom.

Neutrónová sonda obsahuje:

- Guľu moderátora s priemerom 250 mm
- ^3He proporcionálny detektor umiestnený v strede gule
- Schránku s držiakom obsahujúcou predzosilňovač s diskriminátorom a generátor vysokého napätia

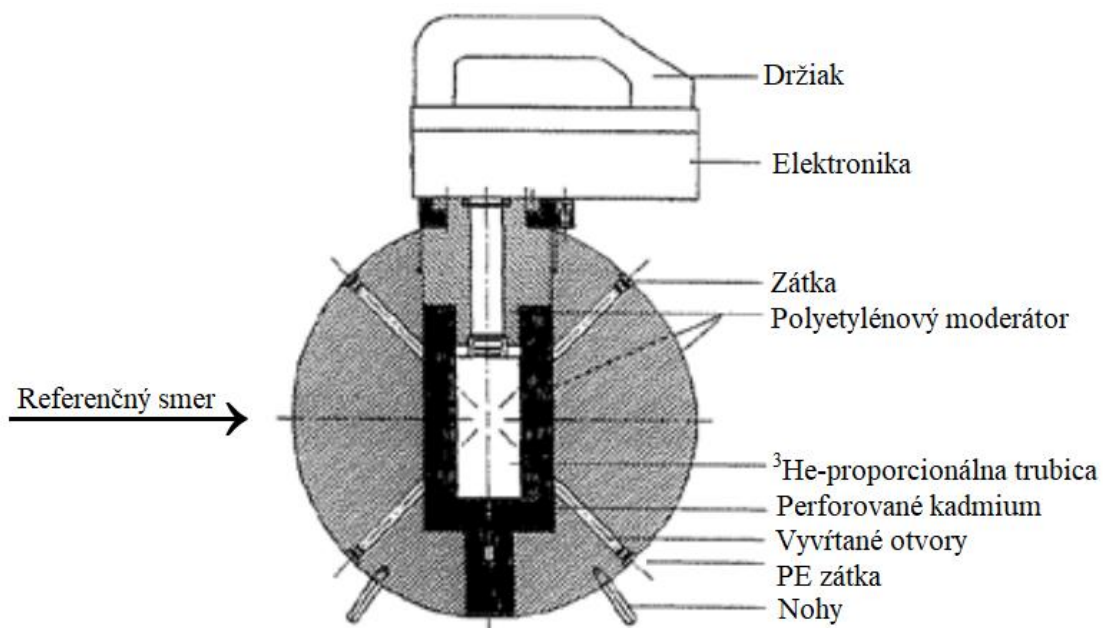
Sonda stojí na štyroch nohách pripojených ku spodnej strane gule. Na hornej strane gule je nainštalovaný univerzálny monitor LB134 UMo II. Odozva neutrónovej sondy je takmer izotropná v dôsledku svojho guľového tvaru. Keďže symetria je narušená elektronikou namontovanou na vrchu sondy, bol za účelom umožnenia vykonania kalibrácie definovaný referenčný smer. Referenčný smer je orientovaný v rovine rovníka gule, paralelne k držiaku ako je zobrazené na obrázku č. 2. Rovník je

označený pre zjednodušenie zarovnania v radiačnom poli. Referenčným smerom radiačného merania je stred gule.

Obrázok 1. LB 6411 s univerzálnym monitorom LB 134 UMo II



Obrázok 2. Schematický nákres LB 6411



2.1 Základné technické charakteristiky

Detektor:	^3He proporcionálna meracia trubica
Hmotnosť :	9,2 kg
Priemer moderátora:	250 mm
Materiál moderátora:	nízkotlakový polyetylén s prídavkom 2 % uhlíka
Denzita moderátora:	0,95 g/cm ³
Rozmery trubice:	Ø 40 mm x 100 mm
Materiál krytu meracej trubice:	nehrdzavejúca oceľ
Hrúbka steny trubice:	1 mm
Aktívna dĺžka trubice:	≈ 40 mm
Aktívny objem trubice:	≈ 45 cm ³
Merací plyn:	$^3\text{Hélium}$ /Metán
Objem meracieho plynu:	90 cm ³ (60μg ^3He)
Pracovné napätie:	2650 V
Prevádzková teplota:	-10°C až +50°C
Prevádzková vlhkosť:	< 90%
Napájanie UMo:	4 kusy nabíjateľných batérií Mignon 1,2 V alebo napájanie s nabíjaním batérie cez sieť

2.2 Základné metrologické charakteristiky

Veličina:	priestorový dávkový ekvivalent $H^*(10)$ pre neutróny v Sv/h
Energetický rozsah neutrónov:	od energie termálnych neutrónov do 20 MeV
Energetická závislosť:	50 keV – 10 MeV (± 30% max odchýlka)
Merací rozsah:	100 nSv/h – 100 mSv/h
Pozadie:	rádovo 10 nSv/h
γ senzitivita:	< 40 μSv/h pri 10 mSv/h v poli ^{137}Cs
Mŕtva doba:	5 μs
Detekcia senzitivity pre termálne neutróny:	približne 90%

3. Posúdenie výkresovej a technickej dokumentácie:

Predložená technická dokumentácia je dostačujúca pre vydanie rozhodnutia o schválení typu v Slovenskej republike.

4. Podmienky vykonania skúšok technických charakteristík a metrologických charakteristík

Posúdenie schválenia typu bolo vykonané na základe posúdenia dokumentácie uvedenej v článku 1.2 a 1.3 tohto protokolu.

Na základe žiadosti o schválenie typu meradla, bola na Oddelení ionizujúceho žiarenia SMÚ posúdená predložená technická dokumentácia, ktorá bola dostačujúca pre vydanie rozhodnutia o schválení typu meradla.

Skúšky sa vykonali v laboratóriu dozimetrický veličín žiarenia neutrónov Oddelenia ionizujúceho žiarenia s použitím etalónových žiaričov uvedených v tabuľke č. 1.

Typová skúška bola vykonaná na základe normy IEC 61005:2014. V zátvorkách sú uvedené odkazy na jednotlivé body normy použité pri jednotlivých skúškach.

- Skúška odozvy meradla na dávkový príkon (6.3)
- Skúška odozvy meradla na energiu neutrónov (6.4)
- Skúška odozvy meradla od uhlu dopadu (6.6)
- Skúška odozvy meradla od teploty okolia (10.3)
- Skúška doby odozvy (6.8)
- Skúška presnosti alarmu dávkového príkonu (6.10)
- Skúška presnosti alarmu dávky (6.11)
- Skúška odozvy na fotónové žiarenie (6.12)

Pri meraní boli použité neutrónové žiariče uvedené v tabuľke č. 1.

Tabuľka č. 1 Použité etalónové neutrónové žiariče

Rádionuklid	Typ	v. č.	Aktivita (11.09.2019) (k = 2)	Emisia [s ⁻¹] (11.09.2019) (k = 2)
²⁵² Cf	HK252M11.18	18.0/32	81,51 MBq ± 10 %	1,025 x 10 ⁷ (± 2,11 %)
²⁴¹ Am-Be	AMN.24	5750 NE	174,49 GBq ± 6 %	1,135 x 10 ⁷ (± 1,40 %)

5. Údaje o hodnotených technických charakteristikách a metrologických charakteristikách:

Výsledky meraní:

Skúška odozvy meradla na príkon priestorového dávkového ekvivalentu (IEC 61005:2014, bod 6.3)

Metóda skúšky spočívala v porovnaní konvenčne pravých hodnôt príkonu priestorového dávkového ekvivalentu v daných meracích bodoch s údajmi meradla. Príspevok od rozptýlených neutrónov a útlm v dôsledku lineárneho zoslabenia toku neutrónov boli korigované metódou variácie vzdialenosti (ISO 8529-2:2000). Príspevok od rozptýlených neutrónov spôsobený vplyvom geometrie vodiaceho stĺpa neutrónového ožarovača na SMÚ bol korigovaný korekčným faktorom $k(d)$ vypočítaným pomocou Monte Carlo simulácií prostredníctvom kódu MCNP 6. Konvenčne pravá hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu vo vzdialenosti d medzi stredom zdroja neutrónov a stredom moderátoru meradla bola stanovená podľa vzťahu:

$$\dot{H}_0^*(10) = h \cdot \frac{B \cdot F_l(\theta)}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

kde

$\dot{H}_0^*(10)$ - je príkon priestorového dávkového ekvivalentu [$\mu\text{Sv/h}$],

h - konverzný koeficient fluencie neutrónov na priestorový dávkový ekvivalent stanovený na základe energetickej distribúcie fluencie neutrónov zdroja $\Phi_E(E)$ a konverznej funkcie $h_\Phi^*(10, E)$ z odporúčaní ICRP 74. Pre zdroj ^{252}Cf je $h = 385 \text{ pSv.cm}^2$ a pre zdroj $^{241}\text{Am-Be}$ je $h = 391 \text{ pSv.cm}^2$ (ISO 8529-3),

B - emisia zdroja neutrónov [s^{-1}],

$F_I(\theta)$ - anizotropia emisie zdroja,

d - vzdialenosť stredov zdroja neutrónov a moderátora meradla [cm].

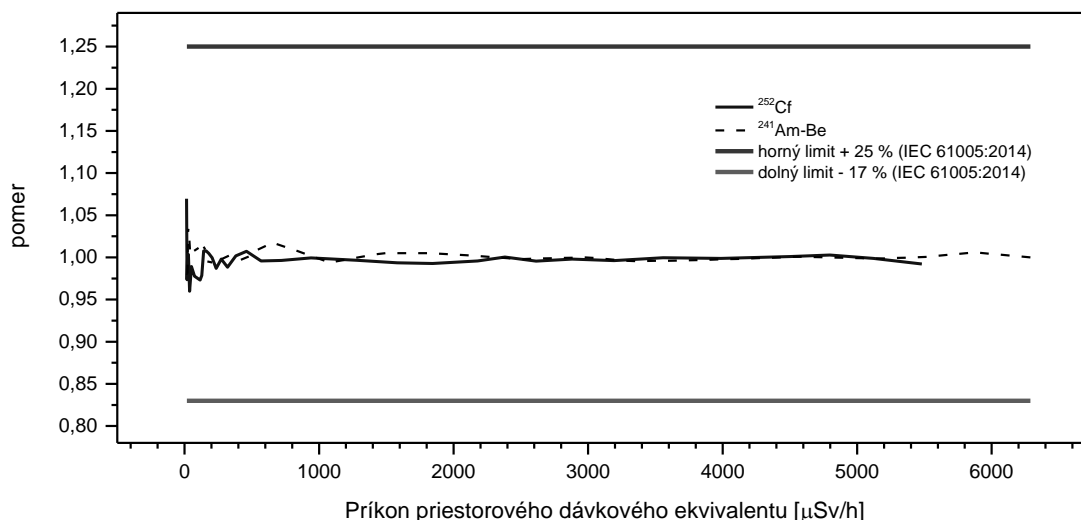
Výsledky merania sú uvedené v tabuľke č. 2, kde $\dot{H}_0^*(10)$ je konvenčne pravý príkon priestorového dávkového ekvivalentu, $\dot{H}^*(10)$ je príkon priestorového dávkového ekvivalentu indikovaného meradlom, fit je korekcia stanovená metódou variácie vzdialenosti, $k(d)$ je korekčný faktor zohľadňujúci vplyv geometrie ožarovača na rozptýlené neutróny vypočítané pomocou Monte Carlo simulácií a Δ je percentuálny rozdiel hodnôt $\dot{H}_0^*(10)$ a $\dot{H}^*(10)$.

$$\Delta = \frac{\dot{H}^*(10) - \dot{H}_0^*(10)}{\dot{H}_0^*(10)} \cdot 100\%$$

Meranie bolo vykonané v 35 bodoch pre dva typy neutrónových polí (^{252}Cf a $^{241}\text{Am-Be}$). V obrázku č. 3 je uvedený pomer meradlom indikovanej hodnoty priestorového dávkového ekvivalentu korigovaného faktorom $k(d)$, resp. fitom korekcie stanovenej metódou variácie vzdialenosti, z dôvodu príspevku rozptýlených neutrónov s konvenčne pravou hodnotou priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov. Získané hodnoty nepresahujú horný limit +25 % a spodný limit -17 % podľa odporúčaní normy IEC 61005:2014.

Tabuľka č. 2

²⁵² Cf (HK252M11.18)					²⁴¹ Am-Be (AMN.24)				
$\dot{H}_0^*(10)$ [μ Sv/h]	$\dot{H}^*(10)$ [μ Sv/h]	fit_{Cf}	$k(d)_{Cf}$	Δ [%]	$\dot{H}_0^*(10)$ [μ Sv/h]	$\dot{H}^*(10)$ [μ Sv/h]	fit_{AmBe}	$k(d)_{AmBe}$	Δ [%]
5,48E+03	5,93E+03	1,07	1,065	8,18	6,29E+03	7,08E+03	1,10	1,078	12,67
5,12E+03	5,52E+03	1,06	1,066	7,68	5,88E+03	6,61E+03	1,09	1,079	12,51
4,80E+03	5,14E+03	1,05	1,066	7,20	5,50E+03	6,12E+03	1,09	1,080	11,27
4,50E+03	4,79E+03	1,05	1,067	6,40	5,16E+03	5,70E+03	1,08	1,080	10,46
3,99E+03	4,20E+03	1,04	1,069	5,44	4,57E+03	5,02E+03	1,07	1,082	9,78
3,56E+03	3,74E+03	1,04	1,070	5,11	4,08E+03	4,44E+03	1,06	1,083	8,76
3,19E+03	3,34E+03	1,03	1,072	4,56	3,66E+03	3,96E+03	1,06	1,085	8,05
2,88E+03	3,01E+03	1,03	1,073	4,64	3,31E+03	3,56E+03	1,06	1,086	7,57
2,61E+03	2,73E+03	1,03	1,074	4,41	3,00E+03	3,23E+03	1,05	1,087	7,74
2,38E+03	2,50E+03	1,03	1,075	4,90	2,73E+03	2,93E+03	1,05	1,088	7,43
2,18E+03	2,27E+03	1,03	1,076	4,43	2,50E+03	2,68E+03	1,05	1,090	7,11
1,84E+03	1,92E+03	1,03	1,077	4,31	2,12E+03	2,27E+03	1,05	1,091	7,28
1,58E+03	1,65E+03	1,04	1,079	4,49	1,81E+03	1,95E+03	1,04	1,092	7,45
1,28E+03	1,35E+03	1,04	1,081	5,22	1,47E+03	1,58E+03	1,04	1,094	7,47
9,41E+02	9,97E+02	1,04	1,083	6,02	1,08E+03	1,15E+03	1,05	1,097	6,49
7,20E+02	7,66E+02	1,05	1,084	6,41	8,26E+02	8,96E+02	1,05	1,099	8,43
5,69E+02	6,09E+02	1,06	1,085	6,94	6,53E+02	7,17E+02	1,05	1,100	9,84
4,61E+02	5,02E+02	1,06	1,086	8,89	5,29E+02	5,78E+02	1,06	1,101	9,33
3,81E+02	4,15E+02	1,07	1,087	9,02	4,37E+02	4,75E+02	1,07	1,103	8,60
3,20E+02	3,47E+02	1,08	1,089	8,25	3,67E+02	4,04E+02	1,07	1,105	9,89
2,73E+02	3,00E+02	1,09	1,089	10,13	3,13E+02	3,46E+02	1,08	1,104	10,54
2,35E+02	2,58E+02	1,09	1,091	9,62	2,70E+02	2,99E+02	1,08	1,105	10,73
2,05E+02	2,29E+02	1,10	1,091	11,84	2,35E+02	2,60E+02	1,09	1,105	10,76
1,80E+02	2,04E+02	1,11	1,090	13,15	2,07E+02	2,31E+02	1,10	1,105	11,79
1,60E+02	1,82E+02	1,12	1,090	14,30	1,83E+02	2,05E+02	1,11	1,105	12,01
1,42E+02	1,64E+02	1,12	1,091	15,09	1,63E+02	1,85E+02	1,11	1,108	13,59
1,28E+02	1,44E+02	1,13	1,091	12,58	1,46E+02	1,71E+02	1,12	1,107	16,54
1,15E+02	1,30E+02	1,14	1,091	12,85	1,32E+02	1,54E+02	1,13	1,108	16,21
7,38E+01	8,68E+01	1,18	1,092	17,64	8,46E+01	1,03E+02	1,17	1,108	21,46
5,12E+01	6,34E+01	1,23	1,091	23,75	5,88E+01	7,32E+01	1,21	1,109	24,56
3,76E+01	4,70E+01	1,28	1,092	24,96	4,32E+01	5,61E+01	1,26	1,109	29,85
2,88E+01	3,92E+01	1,33	1,092	36,03	3,31E+01	4,59E+01	1,32	1,109	38,88
2,28E+01	3,22E+01	1,39	1,093	41,31	2,61E+01	3,81E+01	1,37	1,108	45,87
1,84E+01	2,65E+01	1,45	1,093	43,46	2,12E+01	3,03E+01	1,44	1,109	43,02
1,52E+01	2,51E+01	1,51	1,092	64,45	1,75E+01	2,64E+01	1,50	1,108	50,74



Obrázok 3. Test odozvy meradla na $\dot{H}^*(10)$ v rôznych meracích bodoch

Skúška odozvy meradla na energiu neutrónov (IEC 61005:2014, bod 6.4)

Keďže SMÚ nedisponuje generátorom monoenergetických neutrónov s energiou nad 10 MeV a používa štandardné rádionuklidové zdroje neutrónov ($^{241}\text{Am-Be}$ a ^{252}Cf), bolo výrobcom poskytnuté celé spektrum odozvy na fluenciu neutrónov R_ϕ pre celý energetický rozsah meradla do 20 MeV. Následne pomocou tohto spektra R_ϕ a konverznej funkcie $h_\phi^*(10, E)$ z odporúčaní ICRP 74 bola určená relatívna odozva r , ktorá je stanovená nasledovným vzťahom:

$$r = \frac{R}{R_r}$$

kde

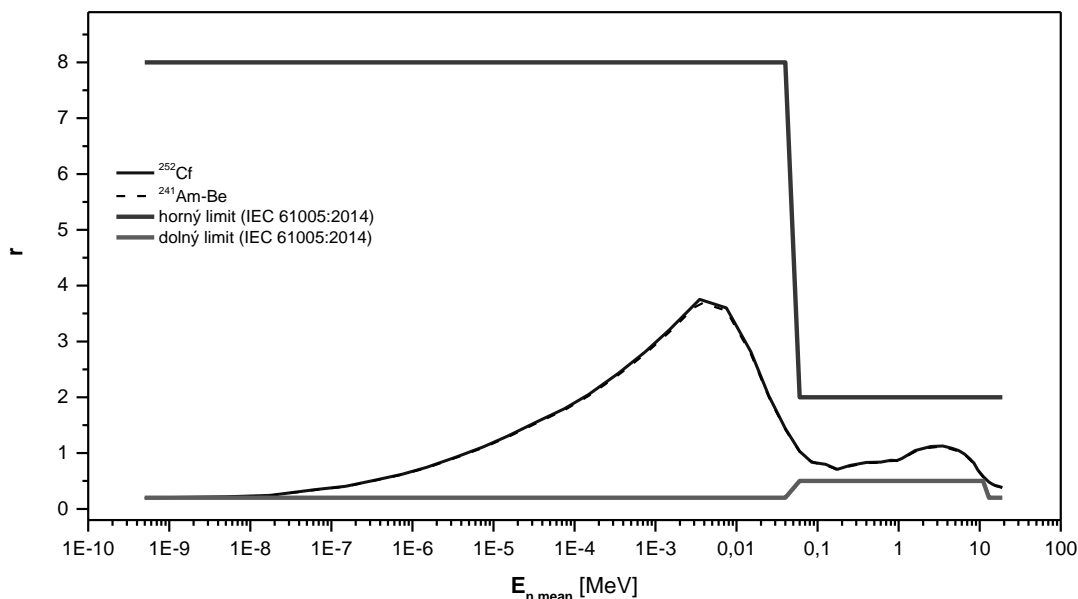
R - vypočítaná odozva pomocou konverznej funkcie $h_\phi^*(10, E)$ z odporúčaní ICRP 74 [imp/pSv],

R_r - referenčná odozva pre ^{252}Cf , resp. $^{241}\text{Am-Be}$ vypočítaná pomocou konverznej funkcie $h_\phi^*(10, E)$ z odporúčaní ICRP 74 a na základe energetickej distribúcie fluencie neutrónov zdroja $\Phi_E(E)$, podľa ISO 8529-1:2001. Pre overenie výpočtov boli použité aj iné distribúcie fluencií a nástroje, napríklad pre ^{252}Cf Wattová formula a technické tabuľky IAEA TR no. 403 pre ^{252}Cf a $^{241}\text{Am-Be}$, ktoré preukázali vzájomnú zhodu.

Vypočítaný pomer odoziev v poli $^{241}\text{Am-Be}$ s ^{252}Cf má hodnotu 1,042 a nameraný pomer odoziev v týchto poliach 1,013, líšia sa približne o 4 %.

Na obrázku č. 2 je uvedená relatívna odozva r spolu s horným a dolným limitom v závislosti od energie neutrónov. Z obrázku č. 4 je zrejmé, že relatívna odozva v závislosti od energie neutrónov je v medziach definovaných normou IEC 61005:2014. Navyše v obrázku č.1 je z pomeru hodnôt $\dot{H}_0^*(10)$ a korigovanej $\dot{H}^*(10)$

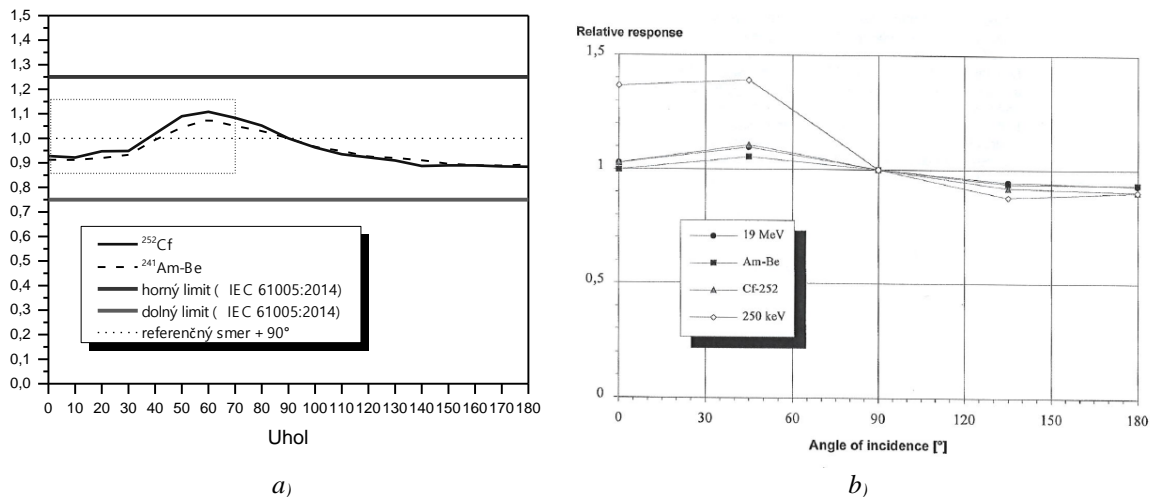
zrejmé, že indikovaná hodnota priestorového dávkového ekvivalentu sa líši od konvenčne pravej hodnoty o menej ako $\pm 20\%$.



Obrázok 4. Relatívna odozva r meradla LB 6411

Skúška odozvy meradla na uhol dopadu neutrónov (IEC 61005:2014, bod 6.6)

Bola sledovaná závislosť odozvy meradla od uhlu dopadajúcich neutrónov a bola stanovená v poliach rádionuklidových zdrojov ^{252}Cf a $^{241}\text{Am-Be}$. Referenčný smer je $+90^\circ$, ak predpokladáme, že vrchol meradla je 0° a spodok meradla je $+180^\circ$.



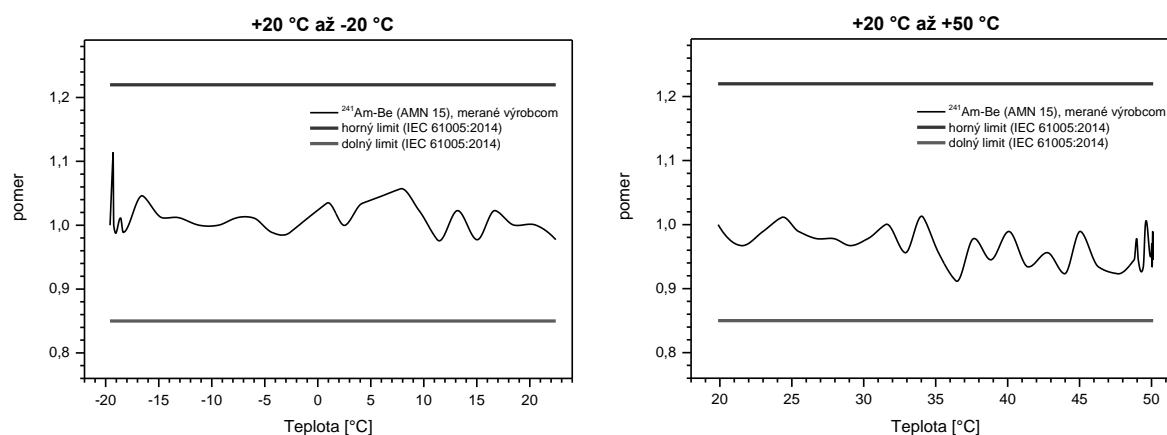
Obrázok 5. Uhlová závislosť za jednotku času pre merania s LB6411

Ako vidieť na obrázku č. 5a), uhlová závislosť vzhľadom na referenčný smer je menej ako $\pm 25\%$ podľa odporúčania normy IEC 61005:2014. Bol však spozorovaný nesúlad

odozvy uhlovej závislosti od 0° do +70° vzhľadom na údaj poskytnutý výrobcom, obrázok č. 5b).

Skúška odozvy meradla od teploty okolia (IEC 61005:2014, 10.3)

Výrobca meradla uvádza rozsah pracovných teplôt od -10 °C do +50 °C. Výrobca dodal výsledky skúšky odozvy meradla od teploty okolia, ktoré boli spracované a vyhodnotené v grafoch na obrázku č. 6.



Obrázok 6. Tepelná závislosť pre merania s LB6411

Z grafov na obrázku č. 6 vyplýva, že meradlo spĺňa požiadavky na daný typ meradla v zmysle normy pre rozsahy teplôt +20 °C až -20 °C a +20 °C až +50 °C.

Skúška doby odozvy (IEC 61005:2014 6.8)

Skúška doby odozvy meradla v prípade náhlej zmeny príkonu priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov bola posúdená podľa vzťahu:

$$\dot{H}_{ff}^*(10) = \dot{H}_i^*(10) + \frac{90}{100} (\dot{H}_f^*(10) - \dot{H}_i^*(10))$$

kde

$\dot{H}_i^*(10)$ - počiatočná hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov [mSv/h] indikovaná meradlom,

$\dot{H}_f^*(10)$ - konečná hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov indikovaná [mSv/h] indikovaná meradlom po čase podľa tabuľky č. 4.,

$\dot{H}_{ff}^*(10)$ - vypočítaná konečná hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov.

V tabuľke č. 3 je vidieť, že meradlo LB 6411 spĺňa požiadavky v zmysle normy IEC 61005:2014 pre náhly nárast a náhly pokles príkonu priestorového dávkového

ekvivalentu od neutrónov, pretože vypočítaná hodnota $\dot{H}_{ff}^*(10)$ spĺňa podmienky $\dot{H}_{ff}^*(10) < \dot{H}_f^*(10)$ pre nárast a $\dot{H}_{ff}^*(10) > \dot{H}_f^*(10)$ pre pokles pre daný čas zmeny.

Tabuľka č. 3

Rozsah [mSv/h] (čas)	$\dot{H}_i^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}_f^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}_{ff}^*(10)$ [mSv/h]	splnenie kritéria	$\dot{H}_i^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}_f^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}_{ff}^*(10)$ [mSv/h]	splnenie kritéria
[< 0,1]	3,40E-05	2,82E-02	2,54E-02	Áno	3,00E-05	3,25E-02	2,93E-02	Áno
(< 30 s)	3,01E-02	4,80E-05	3,05E-03	Áno	3,34E-02	2,21E-03	5,33E-03	Áno
[0,1 – 1,0]	2,20E-05	5,32E-01	4,79E-01	Áno	5,40E-05	6,08E-01	5,47E-01	Áno
(< 10 s)	5,36E-01	1,64E-02	6,84E-02	Áno	6,08E-01	5,00E-02	1,06E-01	Áno
[1,0 <]	7,60E-05	3,23E+00	2,90E+00	Áno	2,70E-05	3,82E+00	3,44E+00	Áno
(< 4 s)	3,23E+00	2,55E+00	2,62E+00	Áno	3,87E+00	3,18E+00	3,24E+00	Áno

Skúška presnosti alarmu dávkového príkonu a skúška presnosti alarmu dávky (IEC 61005:2014, body 6.10 a 6.11)

Univerzálny monitor LB 134 UMo II disponuje vizuálnym a zvukovým alarmom, ktoré je možné kombinovať. Prahové hodnoty alarmu sa môžu nastaviť pre každý typ merania. Pre prahovú hodnotu dávky možno nastaviť aj integrálnu prahovú hodnotu. Meradlo vyhovuje požiadavkám skúšky presnosti alarmu príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov a skúšky presnosti alarmu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov v zmysle normy IEC 61005:2014.

Skúška odozvy na fotónové žiarenie (IEC 61005:2014, bod 6.12)

Prakticky všetky polia neutrónov, pre ktoré je meradlo LB 6411 určené, obsahujú aj γ žiarenie, a preto sa stanovovala aj odozva meradla LB6411 na γ žiarenie.

Z výsledkov v tabuľke č. 4 je zrejmé, že meradlo spĺňa požiadavky v zmysle normy IEC 61005:2014, podľa ktorých je pre príkon priestorového dávkového ekvivalentu od γ žiarenia s hodnotou 10 mSv/h odozva meradla pre príkon priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov rovný 0,0073 mSv/h. Táto hodnota je v zhode s hodnotou udávanou výrobcom, ktorá udáva $\dot{H}^*(10) < 0,040$ mSv/h pre pole ^{137}Cs s $\dot{H}^*(10) = 10$ mSv/h.

Tabuľka č. 4 Odozva meradla LB6411 na γ žiarenie

$\dot{H}^*(10)$ (IEC61005)	^{252}Cf		$^{241}\text{Am-Be}$		^{137}Cs
	$\dot{H}_0^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}_0^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}^*(10)$ [mSv/h]	$\dot{H}^*(10)$ [mSv/h] (γ)
1 mSv/h	1,0015 ± 2,54 %	0,9872	0,9996 ± 2,26 %	1,0039	0,0073
0,1 mSv/h	0,1003 ± 2,40 %	0,0973	0,1001 ± 2,19 %	0,1023	(10 mSv/h)

Vyhodnotenie skúšok v zmysle normy IEC 61005:2014 je uvedené v tabuľke č. 5.

Tabuľka č. 5 Vyhodnotenie meraní

Charakteristické vlastnosti	Menovitý rozsah ovplyvňovanej veličiny	Kritérium relatívnej odozvy prístroja pre menovitý rozsah meradla	IEC 61005:2014	Splnenie kritéria
Odozva meradla na dávkový príkon	(0,01 – 10) mSv.h ⁻¹	-17 % – +25 %	6.3	Áno
Odozva meradla na energiu neutrónov	termálne – 50 keV 50 keV – 10 MeV > 10 MeV	0,2 – 0,8 0,5 – 2,0 0,2 – 2,0	6.4	Áno
Odozva meradla od uhlu dopadu	0° - 180°	±25 %	6.6	Áno
Odozva meradla od teploty okolia	+20 °C – +50 °C +20 °C – -20 °C	-15 % – +22 % -15 % – +22 %	10.3	Áno
Doba odozvy	90 % konečnej hodnoty pri náhlejšej zmene $\dot{H}^*(10)$	< 30 s pre < 0,1 mSv.h ⁻¹ < 10 s pre (0,1 – 1) mSv.h ⁻¹ < 4 s pre > 0,1 mSv.h ⁻¹	6.8	Áno
Presnosť alarmu dávkového príkonu $\dot{H}^*(10)$	max. $\dot{H}^*(10)$ (nastavená hodnota)	0,8(max. $\dot{H}^*(10)$) < 10 % 1,2(max. $\dot{H}^*(10)$) > 90 %	6.10	Áno
Presnosť alarmu dávky $H^*(10)$	max. $H^*(10)$ (nastavená hodnota)	0,8(max. $H^*(10)$) < 10 % 1,2(max. $H^*(10)$) > 90 %	6.11	Áno
Odozva na fotónové žiarenie	$\dot{H}_\gamma^*(10)$ (¹³⁷ Cs) 10 mSv.h ⁻¹	> 0,1 mSv.h ⁻¹	6.12	Áno

6. Zistené nedostatky

Nedostatky neboli zistené.

7. Záver

Z výsledkov posudzovania vyplýva, že uvedený typ meradla vyhovuje svojimi technickými charakteristikami, metrologickými charakteristikami a konštrukčným vyhotovením v rozsahu určeného použitia všetkým požiadavkám vzťahujúcim sa na daný druh meradla ustanovenými vyhláškou ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole, prílohou č. 64 vyhlášky ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. a IEC 61005:2014.

8. Čas platnosti rozhodnutia

Podľa § 21 zákona č. 157/2018 Z. z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov je doba platnosti certifikátu typu meradla 10 rokov.

9. Údaje na meradle

Vyhodnocovacia a detekčná jednotka musia byť vybavené štítkom obsahujúcim názov výrobcu, typové označenie a výrobné číslo.

10. Overenie

Overenie sa bude vykonávať za účelom potvrdenia zhody s metrologickými požiadavkami na meradlo priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov.

Meradlo sa overuje minimálne v rozsahu overenia relatívnej odozvy meradla a štatistických fluktuácií indikovanej odozvy v zmysle normy IEC 61005:2014.

Čas platnosti overenia je podľa položky č. 8.4 prílohy č. 1 vyhlášky č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole 2 roky.

Overovacia značka, sa umiestni na bočnej strane meradla.
