

## **CERTIFIKÁT TYPU MERADLA**

**č. 102/1/441/25 zo dňa 21. októbra 2025**

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 362 007 vydáva podľa § 21 ods. 1 zákona toto rozhodnutie, ktorým

### ***schvaľuje typ meradla***

**Názov meradla:** Meradlo príkonu priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov NuDET ENE  
**Typ:** HWH052  
**Žiadateľ:** Nuvia, s.r.o., Piest'anská 8188/3, 917 01 Trnava  
IČO: 45 004 790  
**Výrobca:** Nuvia a.s., Hrotovická 168, 674 01 Třebíč, Česká republika

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 vyhláške č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení vyhlášky ÚNMS SR č. 346/2022 Z. z (ďalej len vyhláška č. 161/2019Z. z.).

Základné technické charakteristiky a metrologické charakteristiky určeného meradla a výsledky technických skúšok a zistení o splnení požiadaviek na daný druh meradla sú uvedené v protokole č. 031/300/441/25 zo dňa 20. októbra 2025 vydanom Slovenským metrologickým ústavom.

Uvedenému typu meradla sa pridáva značka schváleného typu:

**TSK 441/25 - 102**

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

**Platnosť do: 21. októbra 2035**

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. Milan Mikula  
generálny riaditeľ

**Popis určeného meradla:**

Neutrónová sonda NuDET ENE typ HWH052 je navrhnutá pre meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu  $\dot{H}^*(10)$  v neutrónovom poli. Impulzy zo scintilačného neutrónového detektora sú elektronicky vyhodnocované a prepočítané na  $\dot{H}^*(10)$ . Neutrónovú sondu NuDET ENE možno ovládať prostredníctvom dátovej komunikácie s nadradeným systémom (PC) pomocou rozhrania USB a LAN, ktoré je vyvedené na pripojovacej kabeláži, cez ktorú je zabezpečené aj napájanie detektora.

Neutrónová sonda indikuje príkon priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov  $\dot{H}^*(10)$  a prípadné prekročenie efektívneho meracieho rozsahu.

Názov meradla: Meradlo príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov NuDET ENE

Typ meradla: HWH052

**Základné technické a metrologické charakteristiky:**

|  |   |
|--|---|
| Efektívny merací rozsah                  | 1 $\mu$ Sv/h až 10 mSv/h                            |
| Energetický rozsah                       | 0,025 eV až 20 MeV                                  |
| Presnosť                                 | - 17 % + 25 %                                       |
| Rozmery ( $\varnothing$ x v)             | $\varnothing$ 240 x 1200 mm                         |
| Hmotnosť                                 | 20 kg   |
| Napájanie                                | 12 až 24 VDC $\pm$ 25 %                             |
| Rozsah pracovných teplôt                 | -30 °C až +55 °C                                    |
| Pracovný tlak                            | 86 kPa až 106 kPa                                   |
| Maximálna pracovná relatívna vlhkosť     | 80 %  |
| Linearita (v efektívnom meracom rozsahu) | < 5 %   |
| Uhlová závislosť                         | < 25 %  |
| Krytie                                   | IP 67   |
| Komunikácia                              | USB, LAN  |
| Konektor                                 | WEIPU SF1213/P9                                     |
| Detektor                                 | scintilačný detektor SND.D35.40A ( $^6$ LiF/ZnS:Ag) |
| Fotonásobič                              | SRN.1600.SS.SBDSA.2                                 |

**Overenie určeného meradla:**

Prvotné a následné overenie určeného meradla sa vykonáva podľa Prílohy č. 64 vyhlášky č. 161/2019 Z. z. a normy IEC 61005:2014.

Pri overovaní sa postupuje podľa protokolu č. 031/300/441/25 kapitola 10.

Čas platnosti overenia je podľa položky 8.4 "Meradlo a zostava na meranie dozimetrických veličín používané na kontrolu dodržiavania limitov v oblasti radiačnej ochrany alebo radiačnej bezpečnosti a dôkazové meranie v rámci radiačnej monitorovacej siete." Prílohy č. 1 vyhlášky č. 161/2019 Z. z. **2 roky**.

**Umiestnenie overovacej značky:**

Overovacia značka musí byť umiestnená na ľahko prístupnom a viditeľnom mieste určeného 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.: 031/300/441/25

**Názov meradla:** Meradlo príkonu priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov – neutrónová sonda NuDET ENE

**Typ meradla:** HWH052

**Značka schváleného typu:** TSK 441/25-102

**Výrobca:** Nuvia a.s.  
Hrotovická 168, 674 01 Třebíč  
Česká republika

**Žiadateľ:** NUVIA s.r.o.  
Piešťanská 8188/3, 917 01 Trnava  
IČO: 45004790  
Slovenská republika

**Evidenčné číslo žiadosti:** 362 007

**Počet strán:** 12

**Počet príloh:** 0

**Miesto a dátum vydania:**

**Vypracoval:**

**Skontroloval:**

**Protokol schválil:**

## 1. Všeobecné ustanovenie

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

### **Meradlo príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov NuDET ENE typ: HWH052**

#### 1.1 Rozsah posudzovania

##### **Meradlo svojím charakterom zodpovedá:**

určenému meradlu podľa položky č. 8.4 Prílohy č. 1 a Prílohy č. 64 "Meradlo a zostava na meranie dozimetrických veličín používané na kontrolu dodržiavania limitov v oblasti radiačnej ochrany alebo radiačnej bezpečnosti a na dôkazové meranie v rámci radiačnej monitorovacej siete." k vyhláske ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení vyhláske UNMS SR č. 346/2022 Z. z. (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 odporúčeniami uvedenými v normách:

- IEC 61005:2014 Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters
- ISO 8529-1:2021 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 8529-3:2023 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:

Certifikát o schválení typu meradla 0111-CS-C010-17 zo dňa 26.04.2017, ČMI

Type approval certificate No. 0111-CS-A010-17 zo dňa 26.04.2017, ČMI

Final Measurement Protocol k HWH052 s v. č.: 2020-D1525

Neutronová sonda NuDET ENE: Uživatelský manuál, Verzia dokumentu: 1.00.2

Neutronová sonda NuDET ENE: Technický popis, Verzia dokumentu: 1.00.2

Software EMConfig: Uživatelský manuál, Verzia dokumentu: 1.03

ES Prohlásení o shodě, Multi-kanálový analyzátor MCB3, typ HS M014

Monte-Carlo výpočet energetickej závislosti odozvy meradla (excelovský dokument od NUVIA-e)

Dokumentácia je uložená v archíve odboru metrologie SMÚ.

### 1.3 Údaje o dokladoch použitých pri posudzovaní:

Žiadosť o schválenie typu meradla – ev. č. 362 007 zo dňa 08.09.2025.

Dokumentácia je uložená v archíve odboru metrologie SMÚ.

### 1.4 Údaje o vzorkách určeného meradla:

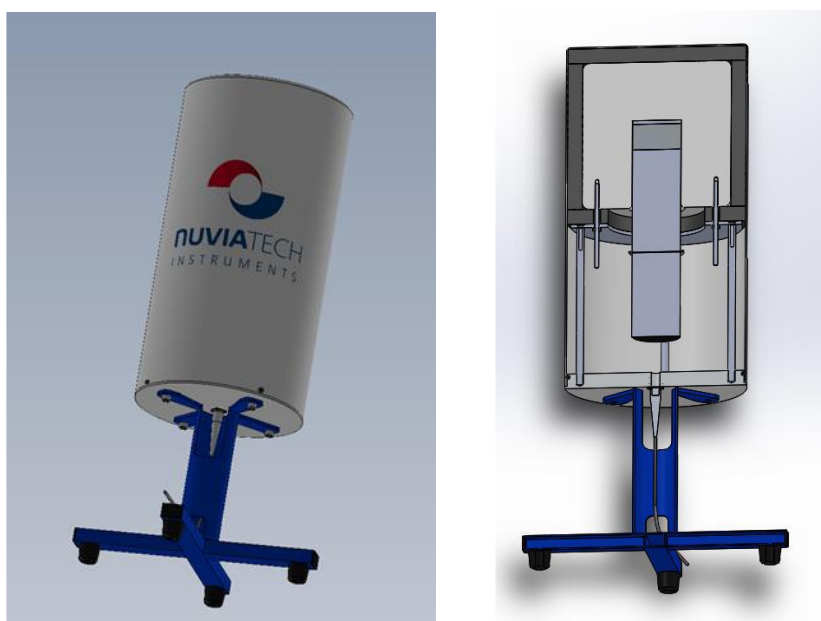
Neutrónová sonda bola dodaná a skúšaná v nasledovnom vyhotovení:

NuDET ENE HWH052 v. č.: 2020-D1525 - verzia firmvéru MCBSCAGMS v1.3.8x spolu so softvérom EMConfig SWH025VER1040. K neutrónovej sonde bola dodaná kabeláž pre napájanie a zber nameraných dát.

## 2. Popis meradla:

Technický popis meradla:

Neutrónová sonda NuDET ENE typ HWH052 je navrhnutá pre meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu  $\dot{H}^*(10)$  v neutrónovom poli. Impulzy zo scintilačného neutrónového detektora sú elektronicky vyhodnocované a prepočítané na  $\dot{H}^*(10)$ . V strede valcového polyetylénového moderátora s priemerom 20 cm a výške 20 cm je umiestnený detektor tepelných neutrónov – cylindrický scintilačný neutrónový detektor rady NuDET NEUTRON typ SND.D35.40A založený na princípe zmesi  ${}^6\text{LiF/ZnS:Ag}$ .



**Obrázok 1.** Neutrónová sonda NuDET ENE – vľavo, rez sondou – vpravo

K scintilačnému detektoru je namontovaný fotonásobič typu SRN.1600.SS.SBDSA.2 a elektronika, ktorá zaisťuje spracovanie signálu. Fotonásobič, detektor a elektronika sú umiestnené vo valcovom tubuse spojeným s moderátorom (obrázok č. 1).

Neutrónovú sondu NuDET ENE možno ovládať prostredníctvom dátovej komunikácie s nadradeným systémom (PC) pomocou rozhrania USB a LAN, ktoré je vyvedené na pripojovacej kabeláži, cez ktorú je zabezpečené aj napájanie detektora.

Kalibračný smer je výrobcom určený zhruba v strede PE moderátora kolmo na os rotácie.

Neutrónová sonda indikuje príkon priestorového dávkového ekvivalentu od neutrónov  $\dot{H}^*(10)$  a prípadné prekročenie efektívneho meracieho rozsahu.

## 2.1 Základné technické charakteristiky deklarované výrobcom

|  |   |
|--|---|
| Efektívny merací rozsah                  | 1 $\mu$ Sv/h až 10 mSv/h                            |
| Energetický rozsah                       | 0,025 eV až 20 MeV                                  |
| Presnosť                                 | - 17 % + 25 %                                       |
| Rozmery ( $\varnothing$ x v)             | $\varnothing$ 240 x 1200 mm                         |
| Hmotnosť                                 | 20 kg   |
| Napájanie                                | 12 až 24 VDC $\pm$ 25 %                             |
| Rozsah pracovných teplôt                 | -30 °C až +55 °C                                    |
| Pracovný tlak                            | 86 kPa až 106 kPa                                   |
| Maximálna pracovná relatívna vlhkosť     | 80 %  |
| Linearita (v efektívnom meracom rozsahu) | < 5 %   |
| Uhlová závislosť                         | < 25 %  |
| Krytie                                   | IP 67   |
| Komunikácia                              | USB, LAN  |
| Konektor                                 | WEIPU SF1213/P9                                     |
| Detektor                                 | scintilačný detektor SND.D35.40A ( $^6$ LiF/ZnS:Ag) |
| Fotonásobič                              | SRN.1600.SS.SBDSA.2                                 |

## 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 odelení 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 požiadaviek normy IEC 61005:2014. Boli vykonané nasledovné skúšky:

- skúška odozvy meradla na dávkový príkon (6.3),

- s odozvy meradla na energiu neutrónov (6.4),
- skúška odozvy meradla od uhlu dopadu (6.6),
- skúška odozvy na fotónové žiarenie (6.12).

V zátvorkách sú uvedené odkazy na jednotlivé body normy použité pri jednotlivých skúškach.

Počas meraní boli použité neutrónové žiariče uvedené v nasledujúcej tabuľke č. 1.

**Tabuľka č. 1 Použité etalónové neutrónové žiariče**

| Rádionuklid          | Typ      | v. č.   | Aktivita<br>(19.09.2025) ( $k = 2$ ) | Emisia [ $s^{-1}$ ]<br>(19.09.2025) ( $k = 2$ ) |
|----------------------|----------|---------|--------------------------------------|---|
| $^{252}\text{Cf}$    | HK252M41 | 14      | 251 MBq $\pm$ 5 %                    | $3,104 \times 10^7$ ( $\pm$ 1,2 %)              |
| $^{241}\text{Am-Be}$ | AMN24    | 5750 NE | 173 GBq $\pm$ 6 %                    | $1,129 \times 10^7$ ( $\pm$ 1,6 %)              |
| $^{239}\text{Pu-Be}$ | IBN26    | 003     | 500GBq $\pm$ 8 %                     | $1,967 \times 10^7$ ( $\pm$ 1,7 %)              |

## 5. Údaje o hodnotených technických charakteristikách a metrologických charakteristikách:

Výsledky meraní:

### Skúška odozvy meradla na príkon priestorového dávkového ekvivalentu (6.3)

Polia neutrónov boli realizované pomocou neutrónových zdrojov uvedených v tabuľke č. 1. Ich emisia bola stanovená metódou mangánového kúpeľa s relatívnou neistotou uvedenou v tabuľke č. 1. Mangánový kúpeľ je primárna metóda etalonáže emisie uzavretých neutrónových zdrojov na SMÚ.

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 a materiálu vodiaceho stĺpa neutrónového ožarovača na SMÚ bol korigovaný pomocou Monte Carlo simulácií prostredníctvom transportného kódu MCNP.

Konvenčne pravá hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu vo vzdialenosti  $d$  medzi stredom zdroja neutrónov a stredom moderátora neutrónovej sondy 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  $^{252}\text{Cf}$  je  $h = 385 \text{ pSv}\cdot\text{cm}^2$ , pre zdroj  $^{241}\text{Am-Be}$  je  $h = 391 \text{ pSv}\cdot\text{cm}^2$  (ISO 8529-3:2023) a pre

zdroj  $^{239}\text{Pu-Be}$  je  $h = 400$  pSv.cm<sup>2</sup> (CMI,  
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109786>),  
 $B$  – emisia zdroja neutrónov [s<sup>-1</sup>],  
 $F_I(\theta)$  – anizotropia emisie zdroja,  
 $d$  – vzdialenosť stredov zdroja neutrónov a moderátora meradla [cm].

Príkon priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov  $\dot{H}^*(10)$  stanovený meradlom je určený vzťahom:

$$\dot{H}^*(10) = c \cdot k \cdot N,$$

kde

$c$  je kalibračná konštanta stanovená metrologickou kalibráciou,  
 $k$  je konštanta prevodu početnosti impulzov  $N$  [imp/s] registrovaných neutrónovou sondou na príkon priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov  $\dot{H}^*(10)$  [μSv/h].

### Linearita odozvy

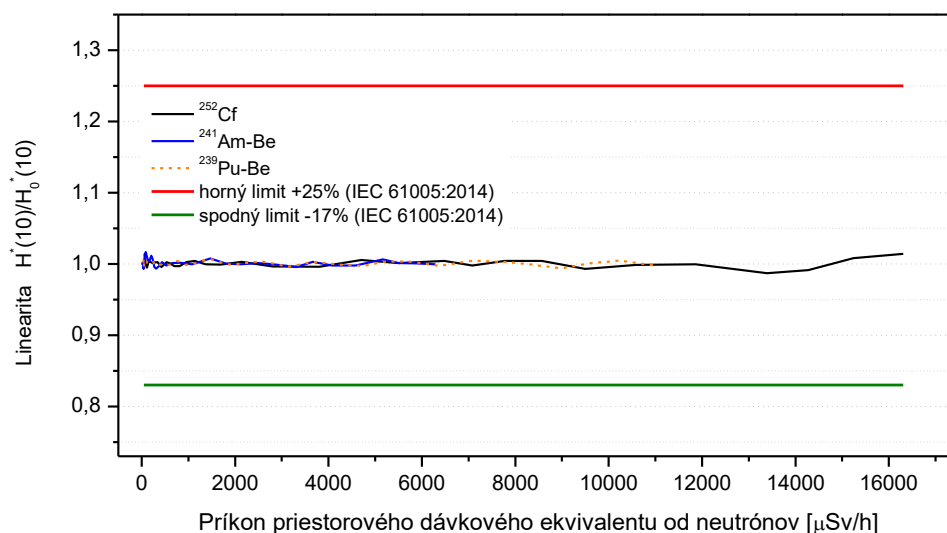
Linearita odozvy neutrónovej sondy je vlastnosť, ktorá charakterizuje priamu úmernosť medzi vstupnou dávkou neutrónového žiarenia a výstupným signálom z detektora. Výsledky merania sú uvedené v tabuľke č. 2, kde  $\dot{H}^*(10)$  je konvenčne pravý príkon priestorového dávkového ekvivalentu,  $\dot{H}_0^*(10)$  je príkon priestorového dávkového ekvivalentu indikovaného neutrónovou sondou a  $\Delta$  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 33 bodoch pre tri typy neutrónových polí:  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{241}\text{Am-Be}$  a  $^{239}\text{Pu-Be}$ . Priame porovnanie nameranej a konvenčne pravej hodnoty príkonu priestorového dávkového ekvivalentu sa nachádza v tabuľke č. 2. Navyše v obrázku č. 2 je uvedený pomer meradlom indikovanej hodnoty priestorového dávkového ekvivalentu korigovaného rozptylmi neutrónov vodiaceho stĺpa ožarovača, 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

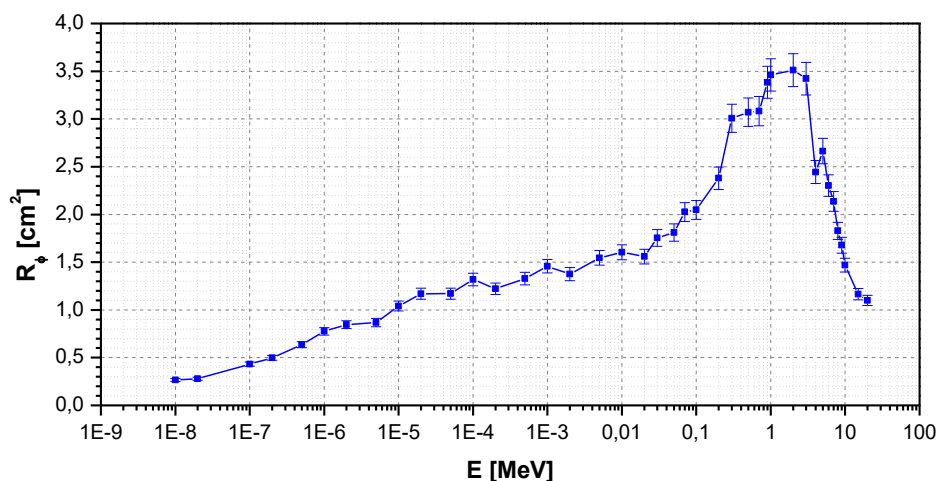
| <sup>252</sup> Cf (HK252M41) |                  |          | <sup>241</sup> Am-Be (AMN24) |                  |          | <sup>239</sup> Pu-Be (IBN26) |                  |          |
|------------------------------|------------------|----------|------------------------------|------------------|----------|------------------------------|------------------|----------|
| $\dot{H}_0^*$ (10)           | $\dot{H}^*$ (10) | $\Delta$ | $\dot{H}_0^*$ (10)           | $\dot{H}^*$ (10) | $\Delta$ | $\dot{H}_0^*$ (10)           | $\dot{H}^*$ (10) | $\Delta$ |
| [ $\mu$ Sv/h]                | [ $\mu$ Sv/h]    | [%]      | [ $\mu$ Sv/h]                | [ $\mu$ Sv/h]    | [%]      | [ $\mu$ Sv/h]                | [ $\mu$ Sv/h]    | [%]      |
| 1,63E+04                     | 1,65E+04         | 1,4      | 6,29E+03                     | 6,29E+03         | 0,0      | 1,09E+04                     | 1,09E+04         | -0,2     |
| 1,52E+04                     | 1,54E+04         | 0,8      | 5,88E+03                     | 5,88E+03         | 0,1      | 1,02E+04                     | 1,03E+04         | 0,5      |
| 1,43E+04                     | 1,41E+04         | -0,9     | 5,50E+03                     | 5,51E+03         | 0,1      | 9,56E+03                     | 9,56E+03         | 0,1      |
| 1,34E+04                     | 1,32E+04         | -1,3     | 5,17E+03                     | 5,20E+03         | 0,6      | 8,97E+03                     | 8,91E+03         | -0,6     |
| 1,19E+04                     | 1,19E+04         | -0,1     | 4,58E+03                     | 4,57E+03         | -0,2     | 7,94E+03                     | 7,96E+03         | 0,2      |
| 1,06E+04                     | 1,06E+04         | -0,2     | 4,08E+03                     | 4,07E+03         | -0,2     | 7,09E+03                     | 7,12E+03         | 0,5      |
| 9,50E+03                     | 9,43E+03         | -0,7     | 3,66E+03                     | 3,67E+03         | 0,3      | 6,36E+03                     | 6,34E+03         | -0,3     |
| 8,57E+03                     | 8,61E+03         | 0,4      | 3,31E+03                     | 3,29E+03         | -0,5     | 5,74E+03                     | 5,76E+03         | 0,3      |
| 7,77E+03                     | 7,81E+03         | 0,4      | 3,00E+03                     | 2,99E+03         | -0,2     | 5,21E+03                     | 5,22E+03         | 0,3      |
| 7,08E+03                     | 7,07E+03         | -0,2     | 2,73E+03                     | 2,73E+03         | 0,0      | 4,74E+03                     | 4,73E+03         | -0,3     |
| 6,48E+03                     | 6,51E+03         | 0,4      | 2,50E+03                     | 2,50E+03         | 0,1      | 4,34E+03                     | 4,33E+03         | -0,2     |
| 5,49E+03                     | 5,49E+03         | 0,1      | 2,12E+03                     | 2,11E+03         | -0,1     | 3,67E+03                     | 3,68E+03         | 0,3      |
| 4,70E+03                     | 4,73E+03         | 0,6      | 1,81E+03                     | 1,81E+03         | 0,0      | 3,15E+03                     | 3,14E+03         | -0,4     |
| 3,81E+03                     | 3,79E+03         | -0,4     | 1,47E+03                     | 1,48E+03         | 0,7      | 2,55E+03                     | 2,56E+03         | 0,4      |
| 2,80E+03                     | 2,79E+03         | -0,4     | 1,08E+03                     | 1,08E+03         | 0,0      | 1,87E+03                     | 1,87E+03         | -0,2     |
| 2,14E+03                     | 2,15E+03         | 0,3      | 8,27E+02                     | 8,28E+02         | 0,2      | 1,43E+03                     | 1,45E+03         | 0,8      |
| 1,69E+03                     | 1,69E+03         | -0,1     | 6,53E+02                     | 6,54E+02         | 0,1      | 1,13E+03                     | 1,13E+03         | 0,0      |
| 1,37E+03                     | 1,37E+03         | -0,1     | 5,29E+02                     | 5,28E+02         | -0,2     | 9,18E+02                     | 9,17E+02         | -0,1     |
| 1,13E+03                     | 1,14E+03         | 0,4      | 4,37E+02                     | 4,38E+02         | 0,3      | 7,59E+02                     | 7,63E+02         | 0,5      |
| 9,52E+02                     | 9,55E+02         | 0,3      | 3,67E+02                     | 3,66E+02         | -0,3     | 6,38E+02                     | 6,37E+02         | -0,1     |
| 8,11E+02                     | 8,09E+02         | -0,3     | 3,13E+02                     | 3,11E+02         | -0,7     | 5,43E+02                     | 5,42E+02         | -0,2     |
| 7,00E+02                     | 6,97E+02         | -0,3     | 2,70E+02                     | 2,69E+02         | -0,4     | 4,69E+02                     | 4,68E+02         | -0,1     |
| 6,10E+02                     | 6,10E+02         | 0,1      | 2,35E+02                     | 2,37E+02         | 0,6      | 4,08E+02                     | 4,08E+02         | -0,1     |
| 5,36E+02                     | 5,37E+02         | 0,2      | 2,07E+02                     | 2,09E+02         | 1,1      | 3,59E+02                     | 3,58E+02         | -0,1     |
| 4,23E+02                     | 4,21E+02         | -0,4     | 1,63E+02                     | 1,64E+02         | 0,4      | 2,83E+02                     | 2,83E+02         | -0,2     |
| 3,43E+02                     | 3,44E+02         | 0,2      | 1,32E+02                     | 1,33E+02         | 0,6      | 2,30E+02                     | 2,31E+02         | 0,6      |
| 2,19E+02                     | 2,20E+02         | 0,2      | 8,46E+01                     | 8,60E+01         | 1,7      | 1,47E+02                     | 1,47E+02         | 0,1      |
| 1,52E+02                     | 1,53E+02         | 0,4      | 5,88E+01                     | 5,89E+01         | 0,3      | 1,02E+02                     | 1,02E+02         | 0,4      |
| 1,12E+02                     | 1,11E+02         | -0,5     | 4,32E+01                     | 4,29E+01         | -0,7     | 7,50E+01                     | 7,48E+01         | -0,2     |
| 8,57E+01                     | 8,57E+01         | 0,0      | 3,31E+01                     | 3,30E+01         | -0,2     | 5,75E+01                     | 5,73E+01         | -0,4     |
| 6,77E+01                     | 6,87E+01         | 1,4      | 2,61E+01                     | 2,61E+01         | -0,1     | 4,55E+01                     | 4,53E+01         | -0,3     |
| 5,49E+01                     | 5,47E+01         | -0,3     | 2,12E+01                     | 2,12E+01         | 0,2      | 3,68E+01                     | 3,71E+01         | 0,7      |
| 4,53E+01                     | 4,52E+01         | -0,2     | 1,75E+01                     | 1,75E+01         | -0,1     | 3,04E+01                     | 3,04E+01         | -0,1     |



**Obrázok 2.** Test linearity odozvy neutrónovej sondy na  $\dot{H}^*(10)$  v rôznych meracích bodoch

### Skúška odozvy meradla na energiu neutrónov (6.4)

Na SMÚ sa používajú štandardné radionuklidové zdroje neutrónov ( $^{241}\text{Am-Be}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  a  $^{239}\text{Pu-Be}$ ). Výrobcom neutrónovej sondy NuDET ENE bolo poskytnuté celé spektrum odozvy na fluenciu neutrónov  $R_\phi$  pre energetický rozsah meradla do 20 MeV (obrázok č. 3).



**Obrázok 3.** Počet reakcií  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$  na jednotku fluencie v detektore neutrónov v závislosti na energii neutrónov vypočítaných pomocou transportného kódu MCNP

Predpokladaná odozva neutrónovej sondy bola vypočítaná konvolúciou odozvovej funkcie detektora  $R_\phi$  (obrázok č. 3) a referenčných spektier  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{241}\text{Am-Be}$  (ISO 8529-1:2021) a  $^{239}\text{Pu-Be}$  (Technical Reports Series No.318, IAEA). Výsledky merania a výpočtu sú zhrnuté v tabuľke č. 3.

**Tabuľka č. 3** Porovnanie vypočítanej a nameranej odozvy neutrónovej sondy NUDET ENE

| Zdroj                | Odozva meradla<br>Výpočet / Meranie | Neistota ( $k=2$ )<br>[%] |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| $^{252}\text{Cf}$    | 1,037                               | 7,28                      |
| $^{241}\text{Am-Be}$ | 0,978                               | 7,18                      |
| $^{239}\text{Pu-Be}$ | 0,985                               | 7,70                      |

Pomer nameranej a vypočítanej odozvy neutrónovej sondy splňuje požiadavky normy IEC 61005:2014.

Pomocou spektra  $R_\Phi$  a konverznej funkcie  $h_\Phi^*(10, E)$  z odporúčaní ICRP 74, resp. ICRU 95 bola určená relatívna odozva  $r$ , ktorá je stanovená nasledovným vzťahom:

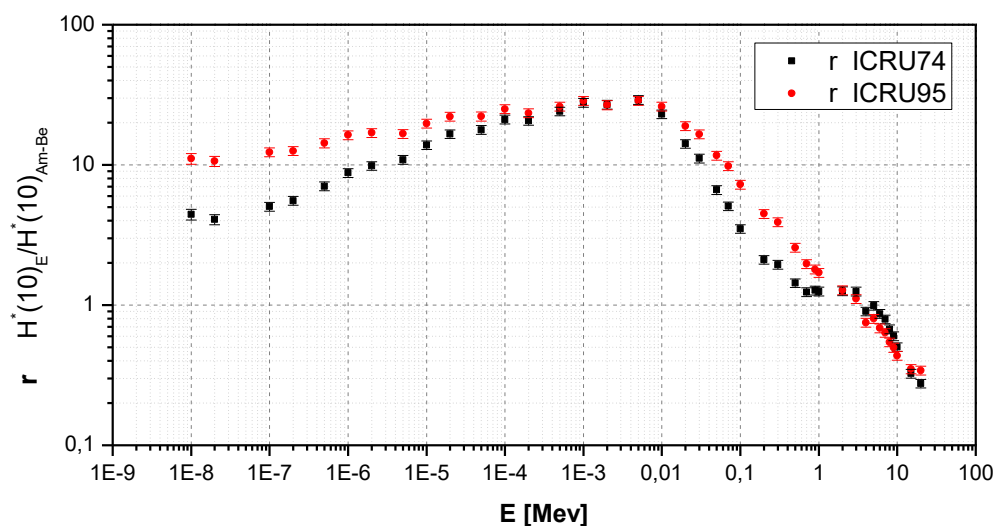
$$r = \frac{R}{R_r}$$

kde

$R$  – vypočítaná odozva pomocou konverznej funkcie  $h_\Phi^*(10, E)$  z odporúčaní ICRP 74, resp. ICRU 95 a zo spektra odozvy na fluenciu neutrónov  $R_\Phi$  pre celý energetický rozsah meradla do 20 MeV [imp/pSv],

$R_r$  – referenčná odozva pre  $^{241}\text{Am-Be}$  vypočítaná pomocou konverznej funkcie  $h_\Phi^*(10, E)$  z odporúčaní ICRP 74, resp. ICRU 95 a na základe energetickej distribúcie fluencie neutrónov zdroja  $\Phi_E(E)$ , podľa ISO 8529-1:2021.

Na obrázku č. 4 je uvedená relatívna odozva  $r$  v závislosti od energie neutrónov.



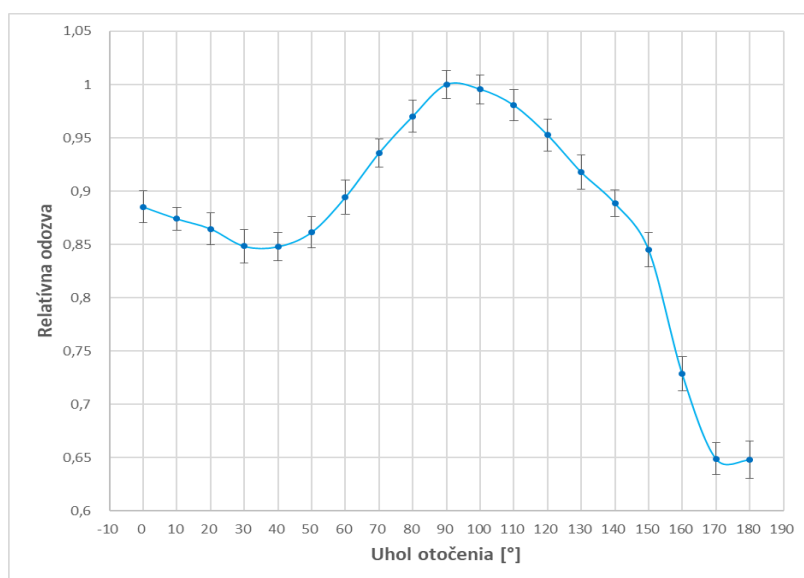
**Obrázok 4.** Porovnanie relatívnej odozvy  $r$  neutrónovej sondy NuDET ENE pre  $^{241}\text{Am-Be}$  v závislosti od odporúčaní ICRP 74 a ICRP 95

Navyše v obrázku č. 2 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 udáva interval (- 17 % až 25 %).

### Skúška odozvy meradla na uhol dopadu neutrónov (6.6)

Relatívna odozva neutrónovej sondy NuDET ENE bola testovaná v závislosti na uhle otočenia vzhľadom k ose otočenia valcového plášťa meradla. Hodnota pre  $180^\circ$  zodpovedá spodnej podstave neutrónovej sondy, v ktorej je umiestnený konektor. Namerané hodnoty sú normované na odozvu v kalibračnom smere neutrónovej sondy, ktoré odpovedajú otočeniu o  $90^\circ$ .

Relatívna odozva neutrónovej sondy v intervale  $0^\circ$  až  $\pm 90^\circ$  je menšia než  $\pm 25\%$  a spĺňa tak požiadavky normy IEC 61005:2014. Výsledok z merania relatívnej odozvy neutrónovej sondy NuDET ENE v závislosti na uhle otočenia vzhľadom k ose otočenia valcového plášťa meradla je uvedený v obrázku č. 5.



**Obrázok 5.** Uhlová závislosť neutrónovej sondy NuDET ENE

Uhlová závislosť odozvy neutrónovej sondy bola určená pomocou referenčného zdroja  $^{252}\text{Cf}$  umiestneného vo vzdialenosti 1 m od stredu sondy v jej kalibračnom smere. Hodnota referenčného príkonu dávkového ekvivalentu mala hodnotu  $(352,9 \pm 4,2) \mu\text{Sv/h}$ .

### Skúška odozvy na fotónové žiarenie (6.12)

Prakticky všetky polia neutrónov, pre ktoré monitoring je neutrónová sonda NuDET ENE určené, obsahujú aj  $\gamma$  žiarenie, a preto sa stanovovala aj odozva neutrónovej sondy na  $\gamma$  žiarenie.

Test citlivosti neutrónovej sondy na fotóny bol vykonaný tak, že neutrónová sonda bola umiestnená do poľa fotónov s priestorovým dávkovým ekvivalentom od  $^{137}\text{Cs}$  na úrovni  $10 \text{ mSv/h}$ . Indikovaná hodnota pre priestorový dávkový ekvivalent od neutrónov by mala byť menšia ako  $0,1 \text{ mSv/h}$ . Priemerná nameraná odozva bola na úrovni  $(0,010 \pm 0,004) \mu\text{Sv/h}$ .

## 6. Zistené nedostatky

Neboli zistené žiadne závažné nedostatky.

## 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

Na základe § 21 ods. 6 zákona č. 157/2018 Z. z. o metrologii a o zmene a doplnení niektorých zákonov je platnosť rozhodnutia o schválení typu meradla 10 rokov.

## 9. Údaje na meradle

Meradlo musí byť označené štítkom obsahujúcim názov výrobcu, typ, výrobné číslo meradla a značku schváleného typu.

## 10. Overenie

Prvotné a následné overenie určeného meradla sa vykonáva podľa Prílohy č. 64 vyhlášky č. 161/2019 Z.z. a normy IEC 61005:2014.

### 10.1 Skúška linearít odozvy

Pri overovaní sa vykoná skúška linearít odozvy neutrónovej sondy, resp. priame porovnanie nameranej a konvenčne pravej hodnoty príkonu priestorového dávkového ekvivalentu. Meranie odozvy  $\dot{H}^*(10)$  sa vykoná v dostatočnom počte meracích bodov, resp. približne v 20 %, 40 % a 80 % každého dekadického rádu meracieho rozsahu neutrónovej sondy. Merania sa vykonávajú pre niektorý z troch typov neutrónových polí tvorených neutrónovým žiaričom  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{241}\text{Am-Be}$  alebo  $^{239}\text{Pu-Be}$ . Ako príklad, priame porovnanie nameranej a konvenčne pravej hodnoty príkonu priestorového dávkového ekvivalentu sa nachádza v tabuľke č. 2, resp. na obrázku č. 2, v ktorom je zobrazený pomer meradlom indikovanej hodnoty priestorového dávkového ekvivalentu korigovaného rozptylmi neutrónov od vodiaceho stĺpa ožarovača na SMÚ, resp. fitom korekcie stanovenej metódou variácie vzdialenosti, z dôvodu príspevku rozptýlených neutrónov s konvenčne pravou hodnotou priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov. Získané hodnoty nesmú presahovať horný limit + 25 % a spodný limit - 17 % podľa odporúčaní normy IEC 61005:2014.

Overenie sa považuje za úspešné, ak meradlo spĺňa požiadavky uvedené v bode 10.1. Ak pri skúške linearít odozvy nie je splnené požadované kritérium, meradlo sa musí nechať opraviť a následne overiť.

Čas platnosti overenia je podľa položky č. 8.4 "Meradlo a zostava na meranie

dozimetrických veličín používané na kontrolu dodržiavania limitov v oblasti radiačnej ochrany alebo radiačnej bezpečnosti a na dôkazové meranie v rámci radiačnej monitorovacej siete." Prílohy č. 1 k vyhláške č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole 2 roky.

Overovacia značka, musí byť umiestnená na ľahko prístupnom a viditeľnom mieste meradla.

\*\*\*