**CERTIFIKÁT TYPU MERADLA****č. 106/1/441/26 zo dňa 23. júla 2026**

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 362 034 vydáva podľa § 21 ods. 1 zákona toto rozhodnutie, ktorým

schvaľuje typ meradla

Názov meradla: PNM-02, Prenosný monitor príkonu dávkového ekvivalentu neutrónov
Typ: K1775
Žiadateľ: VF, s.r.o., M. R. Štefánika 9, 010 02 Žilina
IČO/DIČ: 31442552/2020401746
Výrobca: VF, a.s., Svitavská 588, 679 21 Černá Hora, 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 ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení vyhlášky ÚNMS SR č. 346/2022 Z. z. (ďalej len "vyhláška č. 161/2019 Z. z.).

Základné technické charakteristiky a metrologické charakteristiky meradla a výsledky technických skúšok a zistení o splnení požiadaviek na daný druh určeného meradla sú uvedené v protokole č. 025/300/441/26 zo dňa 22. júla 2026 vydanom Slovenským metrologickým ústavom.

Uvedenému typu meradla sa prideluje značka schváleného typu:

TSK 441/26 - 106

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

Platnosť do: 23. júla 2036

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:

Zariadenie PNM-02 je určené na meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu $\dot{H}^*(10)$ v poliach neutrónového žiarenia v priestoroch, ako sú sklady vyhoretého paliva v jadrových elektrárnach, PET centrá s cyklotrónom, pracoviská s urýchľovačmi častíc, úložiská jadrových materiálov, neutrónové ožarovne a pod. Neutrónové sondy typu PNM-02 sú určené na stacionárnu inštaláciu a môžu sa používať ako súčasť rozsiahlych meracích celkov alebo v spojení s lokálnou zobrazovacou jednotkou môžu slúžiť ako autonómne monitory, ktoré zobrazujú hodnoty priamo na mieste s možnosťou prenosu dát na diaľku.

Názov meradla: PNM-02, Prenosný monitor príkonu dávkového ekvivalentu neutrónov

Typ: K1775

Základné technické a metrologické charakteristiky:

Efektívny merací rozsah $\dot{H}^*(10)$	0,1 $\mu\text{Sv/h}$ až 100000 $\mu\text{Sv/h}$
Energetický rozsah	0,025 eV až 16 MeV
Presnosť	$\pm 20 \%$
Rozmery	$\varnothing = 250 \text{ mm}$, $v = 435 \text{ mm}$
Hmotnosť	cca 10 kg
Napájanie	integrovateľný Li-ion akumulátor 1S3P 3,6 V 10500 mA alebo sieťový adaptér
Príkon	max. 24 W počas nabíjania
Bežná spotreba	< 0,5 W
Rozsah pracovných teplôt	- 20 °C až +50 °C
Pracovný tlak	86 kPa až 106 kPa
Maximálna pracovná relatívna vlhkosť	95 %, nekondenzujúca
Krytie	IP 54
Komunikácia	USB, Bluetooth
Konektor	Fischer 5pin, Fischer 6pin
Detektor	proporcionálny ^3He (4 atm) detektor 9.6He3/304/25
Displej	podsvietený LCD panel
Verzia firmvéru	2.12
Ovládací softvér	VF-Setup 8.34

Podrobnejšie údaje sú uvedené v protokole č. 025/300/441/26.

Overenie určeného meradla:

Pri prvotnom a následnom overovaní sa vykoná skúška linearít odozvy neutrónovej sondy, resp. priame porovnanie nameranej a referenčnej hodnoty príkonu priestorového dávkového ekvivalentu. Podrobnejšie uvedené v protokole č. 025/300/441/26.

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 vyhláske č. 161/2019 Z. z. **2 roky**.

Umiestnenie overovacích značiek:

Overovacia značka musí byť umiestnená na viditeľnom mieste meradla pod displejom, konkrétne na zelenej obľej valcovej časti zobrazovacej jednotky alebo na zelenej plochej časti pod madlom zobrazovacej jednotky merania.

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.: 025/300/441/26

Názov meradla: Prenosný monitor príkonu dávkového ekvivalentu neutrónov PNM-02

Typ meradla: K1775

Druh meradla: podľa Prílohy č. 1, položka 8.4 a Prílohy č. 64 bod 1 písm. f) bod 7 k vyhláške č. 161/2019 Z. z.

Značka schváleného typu: TSK 441/26-106

Výrobca: VF, a.s.
Svitavská 588
679 21 Černá Hora
Česká republika

Žiadateľ: VF, s.r.o.
M. R. Štefánika 9
010 02 Žilina
Slovenská republika
IČO/DIČ: 31442552/2020401746

Evidenčné číslo žiadosti: 362 034

Počet strán: 11

Počet príloh: 0

Miesto a dátum vydania: Bratislava,

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 metrológii a o zmene a doplnení niektorých zákonov (ďalej len zákon o metrológii) na typ meradla:

Prenosný monitor príkonu dávkového ekvivalentu neutrónov PNM-02 typ: K1775

1.1. Rozsah posudzovania

Meradlo svojím charakterom zodpovedá:

určenému meradlu 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 a prílohy č. 64 „Meradlá dozimetrických veličín ionizujúceho žiarenia“ k vyhláške ÚNMS SR č. 161/2019 Z. z. o meradlách a metrologickej kontrole v znení vyhlášky ÚNMS SR č. 346/2022 Z. z. (ďalej len "vyhláška 161/2019 Z. z.")

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

- 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 měřidla č. 0111-CS-C005-10 zo dňa 08.07.2022
- Protokol o zkoušce č. 0115-PT-30058-22 zo dňa 21.04.2022
- Zkušební protokol o zkoušce elektromagnetické slučitelnosti PNM-02, č. 414104887AE1 zo dňa 03.12.2021
- EU Prohlášení o shodě , č. 25532219 zo dňa 18.07.2025
- Kalibrační list č. VF26SM-0007 zo dňa 17.02.2026
- Přenosný monitor PDE neutronů PNM-02: Návod k používání, rev. N, ver. 14
- Software pro nastavování parametrů detektorů VF-Setup: Software manuál, Dokument č.: VF1611040217, rev. Z, ver. 28

1.3. Údaje o dokladoch použitých pri posudzovaní:

Žiadosť o schválenie typu meradla s ev. č. 362 034 zo dňa 24.02.2026. Dokumentácia je uložená v archíve odboru metrologie SMÚ.

1.4. Údaje o vzorkách určeného meradla:

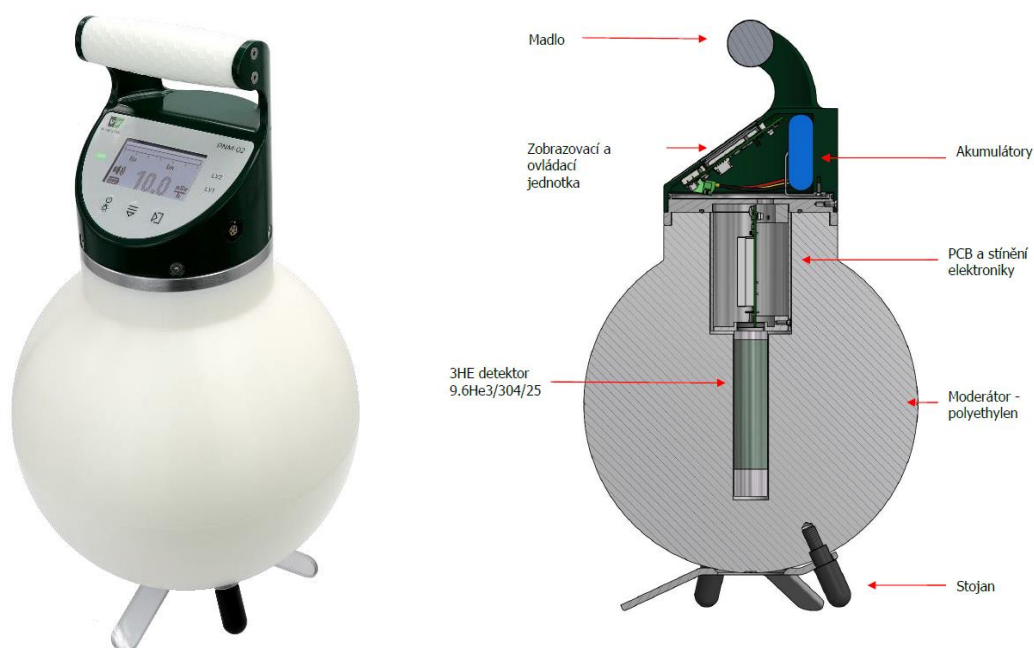
Neutrónová sonda bola dodaná a skúšaná v nasledovnom vyhotovení:

PNM-02 v. č.: 1813853 - verzia firmvéru 2.12 spolu so softvérom VF-Setup 8.34. K neutrónovej sonde bola dodaná kabeláž pre napájanie a zber nameraných dát.

2. Popis meradla:

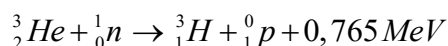
Technický popis meradla:

Zariadenie PNM-02 (obrázok č. 1) je určené na meranie príkonu priestorového dávkového ekvivalentu $\dot{H}^*(10)$ v poliach neutrónového žiarenia v priestoroch, ako sú sklady vyhoretého paliva v jadrových elektrárňach, PET centrá s cyklotrónom, pracoviská s urýchľovačmi častíc, úložiská jadrových materiálov, neutrónové ožarovne a pod. Neutrónové sondy typu PNM-02 sú určené na stacionárnu inštaláciu a môžu sa používať ako súčasť rozsiahlych meracích celkov alebo v spojení s lokálnou zobrazovacou jednotkou môžu slúžiť ako autonómne monitory, ktoré zobrazujú hodnoty priamo na mieste s možnosťou prenosu dát na diaľku.



Obr. č. 1 Prenosný monitor $\dot{H}^*(10)$ od neutrónov PNM-02

Prenosný monitor príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov PNM-02 môže slúžiť aj ako súčasť radiačnej monitorovacej siete pre monitorovanie neutrónových polí. Vnútorňý proporcionálny detektor s plynom ^3He reaguje s neutrónmi podľa rovnice:



Valcový proporcionálny detektor 9.6He3/304/25 je plnený ${}^3\text{He}$ s tlakom 4 atm. Stred citlivého objemu detektora je umiestnený v strede moderačnej gule. Elektronika neutrónovej sondy je umiestnená na doske plošného spoja, ktorá je spoločne s konektorom uchytená na kovovej valcovej podstave. Na obvode moderačnej gule je označená deliaca rovina monitora. Merania odoziev sondy pre rôzne neutrónové polia na SMÚ prebiehali v rovnobežnom smere na túto deliacu rovinu.

Neutrónová sonda PNM-02 obsahuje dva vonkajšie konektory. Prvý z nich je konektor Fischer 5pin, ktorý slúži k prepojeniu servisného kábla s prevodníkom sériového signálu na USB. Prepojenie sondy s PC umožňuje nastavovať zariadenie pomocou softvéru VF-Setup. Zároveň je pomocou tohto kábla zariadenie napájané a je dobíjaný zabudovaný akumulátor. Napájať zariadenie a nabíjať akumulátor je možné taktiež pomocou externej rýchlonabíjačky. Druhým konektorom je Fischer 6pin, ktorý slúži pre prípadné pripojenie prídavného zariadenia SGD-01e - prídavnej sondy pre simultánne meranie príkonu dávkového ekvivalentu gama. Prepojenie neutrónovej sondy PNM-02 s PC okrem kábla s prevodníkom USB je možné realizovať aj bezdrôtovo, resp. pomocou BLE Dongle adaptéra. Protikus Bluetooth modul je integrovaný vo vnútri sondy PNM-02 spolu s anténou. Táto možnosť pripojenia počas vykonania typovej skúšky na SMÚ nebola použitá.

2.1. Základné technické a metrologické charakteristiky

Efektívny merací rozsah $\dot{H}^*(10)$	0,1 $\mu\text{Sv/h}$ až 100000 $\mu\text{Sv/h}$
Energetický rozsah	0,025 eV až 16 MeV
Presnosť	$\pm 20 \%$
Rozmery	$\varnothing = 250 \text{ mm}$, $v = 435 \text{ mm}$
Hmotnosť	cca 10 kg
Napájanie	integrovaný Li-ion akumulátor 1S3P 3,6 V 10500 mA alebo sieťový adaptér
Príkon	max. 24 W počas nabíjania
Bežná spotreba	< 0,5 W
Rozsah pracovných teplôt	- 20 °C až +50 °C
Pracovný tlak	86 kPa až 106 kPa
Maximálna pracovná relatívna vlhkosť	95 %, nekondenzujúca
Krytie	IP 54
Komunikácia	USB, Bluetooth
Konektor	Fischer 5pin, Fischer 6pin
Detektor	proporcionálny ${}^3\text{He}$ (4 atm) detektor 9.6He3/304/25
Displej	podsvietený LCD panel
Verzia firmvéru	2.12
Ovládací softvér	VF-Setup 8.34

V prípade, že je meradlo dodávané s vyššou verziou ovládacieho softvéru alebo firmvéru, musí výrobca deklarovať, že vykonané zmeny v softvéri alebo firmvéri nemajú vplyv na metrologické parametre meradla.

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 sa vykonalo na základe posúdenia dokumentácie uvedenej v článku 1.2. a 1.3. tohto protokolu.

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

Typová skúška sa vykonala na základe požiadaviek normy IEC 61005:2014. Vykonali sa nasledovné skúšky:

- skúška odozvy meradla na dávkový príkon (6.3),
- skúška odozvy meradla na energiu neutrónov (6.4),
- skúška odozvy meradla od uhlu dopadu (6.6).

Tabuľka č. 1 Použité etalónové neutrónové žiariče

Rádionuklid	Typ	Výrobné číslo	Aktivita A (GBq) (31.03.2026)	U_A (%)	Emisia B (s^{-1}) (31.03.2026)	U_B (%)
^{252}Cf	HK252M41	14	0,218	5,0	$2,709 \times 10^7$	1,2
$^{241}\text{Am-Be}$	AMN24	5750 NE	173	6,0	$1,128 \times 10^7$	1,6
$^{239}\text{Pu-Be}$	IBN26	003	500	8,0	$1,967 \times 10^7$	1,7

5. Údaje o hodnotených technických charakteristikách a metrologických charakteristikách:

Skúška odozvy meradla na príkon priestorového dávkového ekvivalentu (6.3)

Polia neutrónov sa realizovali pomocou neutrónových zdrojov uvedených v tabuľke č. 1. Ich emisia sa stanovila 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 referenčných hodnôt príkonu priestorového dávkového ekvivalentu v daných meracích bodoch s údajmi meradla. Príspevok od rozptýlených neutrónov a útlm v dôsledku lineárneho zoslabenia toku neutrónov sa korigovali 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.

Referenčná hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu vo vzdialenosti d medzi stredom zdroja neutrónov a stredom moderátoru neutrónovej sondy sa stanovila podľa vzťahu:

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

kde:

$\dot{H}^*(10)$	príkon priestorového dávkového ekvivalentu ($\mu\text{Sv/h}$),
h	je 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 $h = 385 \text{ pSv.cm}^2$, pre zdroj $^{241}\text{Am-Be}$ je $h = 391 \text{ pSv.cm}^2$ (ISO 8529-3:2023) a pre zdroj $^{239}\text{Pu-Be}$ je $h = 400 \text{ pSv.cm}^2$ (CMI, https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109786),
B	je emisia zdroja neutrónov (s^{-1}),
$F_I(\theta)$	je anizotropia emisie zdroja,
d	je vzdialenosť stredov zdroja neutrónov a moderátora meradla (cm).

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

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

kde:

c	je kalibračná konštanta stanovená metrologickou kalibráciou,
$M_{\dot{H}^*(10)}$	je prístrojom indikovaná hodnota príkonu priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv/h}$).

Linearita odozvy

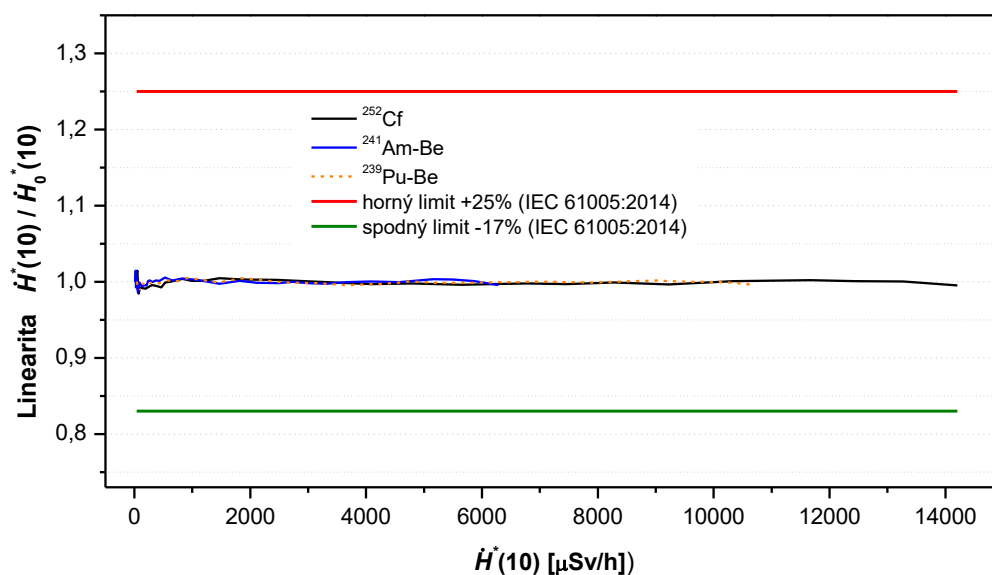
Linearita odozvy neutrónovej sondy je vlastnosť, ktorá charakterizuje priamu úmernosť medzi vstupnou dávkou neutrónového žiarenia a výstupným signálom z detektora. Výsledky merania sú uvedené v tabuľke č. 2, kde $\dot{H}_0^*(10)$ je Referenčný príkon priestorového dávkového ekvivalentu, $\dot{H}^*(10)$ je príkon priestorového dávkového ekvivalentu indikovaného neutrónovou sondou 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 sa vykonalo v 33 bodoch pre tri typy neutrónových polí: ^{252}Cf , $^{241}\text{Am-Be}$ a $^{239}\text{Pu-Be}$. Priame porovnanie nameranej a referenčnej hodnoty príkonu priestorového dávkového ekvivalentu sa nachádza v tabuľke č. 2. Navyše na 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 referenčnou hodnotou priestorového dávkového ekvivalentu neutrónov. Tento pomer bol následne korigovaný konštantou stanovenou pri kalibrácii. Získané hodnoty nepresahujú horný limit + 25 % a spodný limit - 17 % podľa odporúčaní normy IEC 61005:2014.

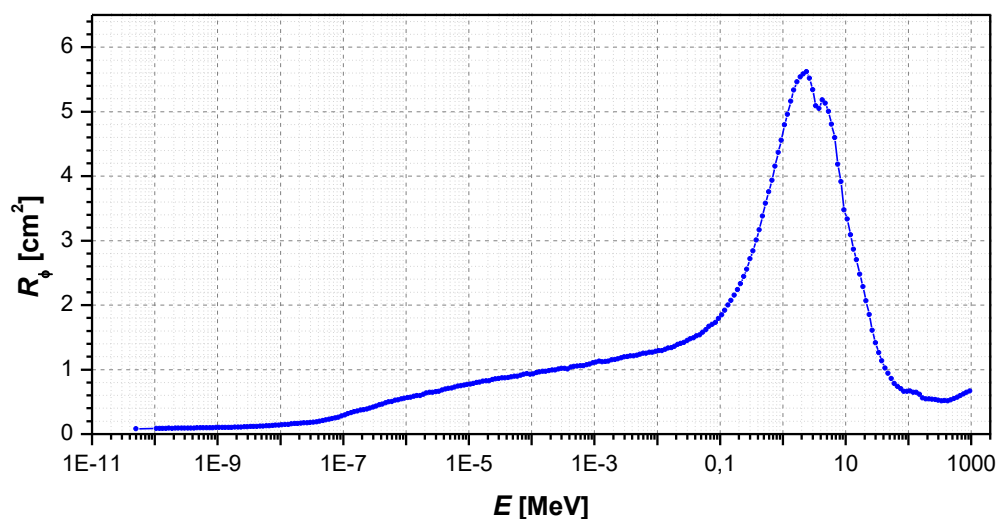
Tabuľka č. 2 Porovnanie nameranej a referenčnej hodnoty $\dot{H}^*(10)$

²⁵² Cf (HK252M41)			²⁴¹ Am-Be (AMN24)			²³⁹ Pu-Be (IBN26)		
$\dot{H}_0^*(10)$ (μSv/h)	$\dot{H}^*(10)$ (μSv/h)	Δ (%)	$\dot{H}_0^*(10)$ (μSv/h)	$\dot{H}^*(10)$ (μSv/h)	Δ (%)	$\dot{H}_0^*(10)$ (μSv/h)	$\dot{H}^*(10)$ (μSv/h)	Δ (%)
1,42E+04	1,41E+04	-0,5	6,28E+03	6,26E+03	-0,4	1,06E+04	1,06E+04	-0,3
1,33E+04	1,33E+04	0,0	5,87E+03	5,88E+03	0,1	1,02E+04	1,02E+04	0,0
1,24E+04	1,24E+04	0,1	5,50E+03	5,52E+03	0,3	9,56E+03	9,56E+03	0,0
1,17E+04	1,17E+04	0,2	5,16E+03	5,18E+03	0,3	8,97E+03	8,98E+03	0,2
1,03E+04	1,03E+04	0,1	4,57E+03	4,57E+03	-0,1	7,94E+03	7,94E+03	-0,1
9,22E+03	9,19E+03	-0,4	4,08E+03	4,08E+03	0,0	7,09E+03	7,08E+03	0,0
8,28E+03	8,27E+03	-0,1	3,66E+03	3,66E+03	-0,1	6,36E+03	6,36E+03	-0,1
7,47E+03	7,44E+03	-0,3	3,30E+03	3,29E+03	-0,3	5,74E+03	5,73E+03	-0,2
6,77E+03	6,76E+03	-0,2	3,00E+03	2,99E+03	-0,2	5,21E+03	5,20E+03	-0,2
6,17E+03	6,15E+03	-0,3	2,73E+03	2,73E+03	0,0	4,74E+03	4,74E+03	0,0
5,65E+03	5,63E+03	-0,4	2,50E+03	2,49E+03	-0,2	4,34E+03	4,33E+03	-0,3
4,78E+03	4,77E+03	-0,2	2,11E+03	2,11E+03	-0,1	3,67E+03	3,66E+03	-0,4
4,10E+03	4,08E+03	-0,3	1,81E+03	1,81E+03	0,1	3,15E+03	3,14E+03	-0,2
3,32E+03	3,32E+03	-0,1	1,47E+03	1,46E+03	-0,3	2,55E+03	2,55E+03	-0,1
2,44E+03	2,45E+03	0,3	1,08E+03	1,08E+03	0,2	1,87E+03	1,88E+03	0,5
1,87E+03	1,87E+03	0,3	8,26E+02	8,29E+02	0,4	1,43E+03	1,43E+03	-0,1
1,48E+03	1,48E+03	0,5	6,53E+02	6,54E+02	0,2	1,13E+03	1,14E+03	0,3
1,19E+03	1,20E+03	0,1	5,29E+02	5,32E+02	0,6	9,18E+02	9,23E+02	0,5
9,88E+02	9,89E+02	0,1	4,37E+02	4,37E+02	0,1	7,59E+02	7,60E+02	0,1
8,30E+02	8,33E+02	0,4	3,67E+02	3,68E+02	0,2	6,38E+02	6,39E+02	0,1
7,07E+02	7,08E+02	0,2	3,13E+02	3,13E+02	0,0	5,43E+02	5,45E+02	0,2
6,10E+02	6,10E+02	0,0	2,70E+02	2,70E+02	0,2	4,69E+02	4,68E+02	-0,1
5,31E+02	5,31E+02	-0,1	2,35E+02	2,35E+02	0,1	4,08E+02	4,07E+02	-0,2
4,67E+02	4,63E+02	-0,7	2,06E+02	2,05E+02	-0,5	3,59E+02	3,58E+02	-0,3
3,69E+02	3,67E+02	-0,5	1,63E+02	1,62E+02	-0,5	2,83E+02	2,84E+02	0,0
2,99E+02	2,97E+02	-0,4	1,32E+02	1,31E+02	-0,6	2,30E+02	2,28E+02	-0,6
1,91E+02	1,89E+02	-0,9	8,46E+01	8,45E+01	-0,1	1,47E+02	1,47E+02	-0,1
1,33E+02	1,32E+02	-0,8	5,87E+01	5,79E+01	-1,4	1,02E+02	1,01E+02	-1,2
9,75E+01	9,68E+01	-0,8	4,31E+01	4,29E+01	-0,6	7,50E+01	7,46E+01	-0,5
7,47E+01	7,35E+01	-1,5	3,30E+01	3,33E+01	0,7	5,74E+01	5,70E+01	-0,6
5,90E+01	5,89E+01	-0,2	2,61E+01	2,59E+01	-0,7	4,53E+01	4,53E+01	0,0
4,78E+01	4,85E+01	1,5	2,11E+01	2,14E+01	1,4	3,67E+01	3,69E+01	0,5
3,95E+01	3,99E+01	1,0	1,75E+01	1,75E+01	0,0	3,04E+01	3,05E+01	0,6

Obr. č. 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 rádionuklidové zdroje neutrónov ($^{241}\text{Am-Be}$, ^{252}Cf a $^{239}\text{Pu-Be}$). Spektrum odozvy na fluenciu neutrónov R_Φ pre energetický rozsah meradla do 1 GeV (obrázok č. 3) sa vypočítal pomocou transportného MC kódu MCNP 6.3.



Obr. č. 3 Fluencia odozvy detektora PNM-02 v závislosti od energie neutrónov vypočítaná pomocou transportného kódu MCNP 6.3

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

Tabuľka č. 3 Porovnanie vypočítanej a nameranej odozvy neutrónovej sondy PNM-02

Zdroj	Vypočítaná odozva (cm ²)	Nameraná odozva (cm ²)
²⁵² Cf	4,725	1,218
²⁴¹ Am-Be	4,640	1,165
²³⁹ Pu-Be	4,799	1,138

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

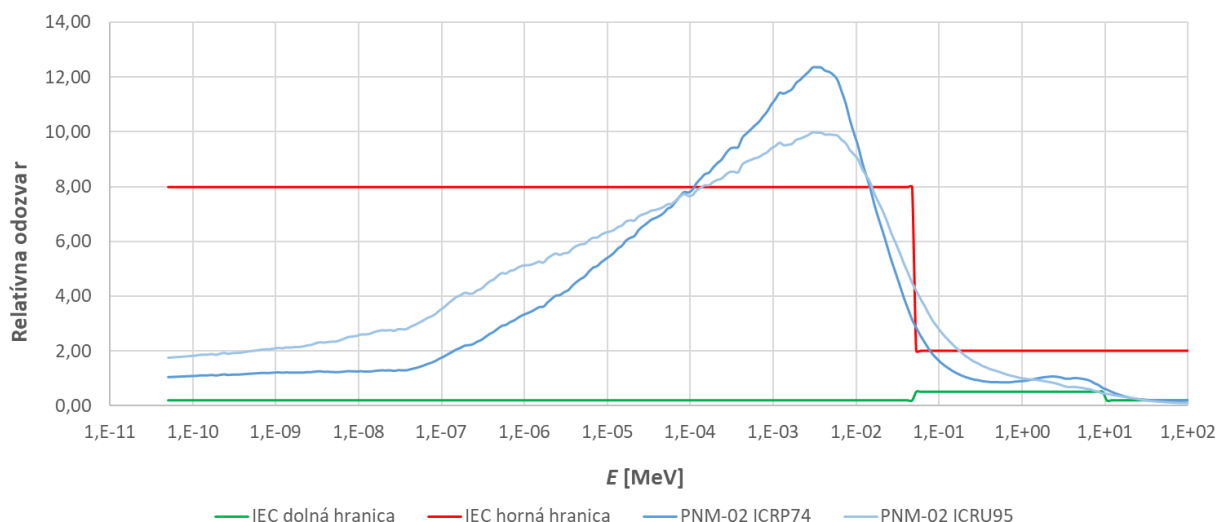
$$r = \frac{R}{R_r},$$

kde:

R je vypočítaná odozva pomocou konverznjej funkcie $h_\Phi^*(10, E)$ z odporúčaní ICRP 74, resp. ICRU 95 a zo spektra odozvy na fluenciu neutrónov R_Φ pre celý energetický rozsah meradla do 20 MeV,

R_r referenčná odozva pre ²⁴¹Am-Be vypočítaná pomocou konverznjej 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.



Obr. č. 4 Porovnanie relatívnej odozvy r neutrónovej sondy PNM-02 pre ²⁵²Cf v závislosti od odporúčaní ICRP 74 a ICRU 95

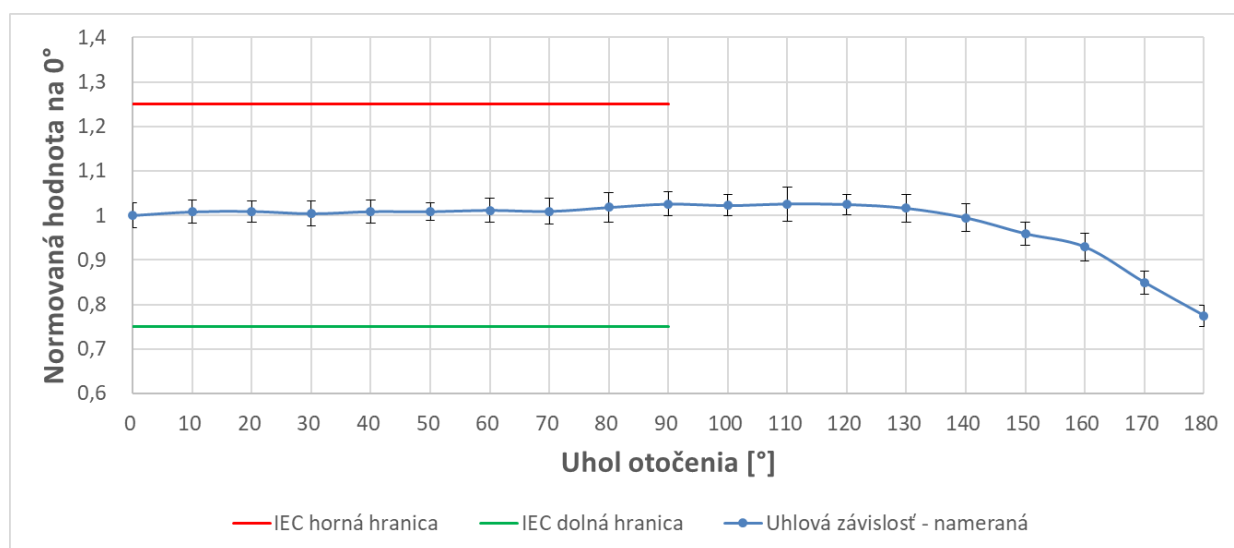
Z obrázku č. 4 vyplýva, že energetická závislosť odozvy meradla PNM-02 vyhovuje odporúčaniam normy IEC 61005:2014 a odporúčaniam ICRP74 v intervale energií od 100 keV do 20 MeV. Mimo tento rozsah je potrebné počítať s vyššou odchýlkou indikovanej hodnoty $\dot{H}^*(10)$. Dobre popísaná energetická závislosť odozvy meradla umožňuje korekciu jeho odozvy pre dané neutrónové spektrum. Navyše v obrázku č. 2 je z pomeru hodnôt $\dot{H}_0^*(10)$ a korigovanej $\dot{H}^*(10)$ zrejme, že indikovaná hodnota priestorového

dávkového ekvivalentu sa líši od referenčnej hodnoty o menej ako udáva interval $<- 17 \%; 25 \%$.

Skúška odozvy meradla na uhol dopadu neutrónov (6.6)

Relatívna odozva neutrónovej sondy PNM-02 sa testovala v závislosti na uhle otočenia vzhľadom k vertikálnej osi meradla. Hodnota pre 180° zodpovedá hornej časti detektora s madlom. Namerané hodnoty sú normované na odozvu v spodnej časti neutrónovej sondy, ktorá odpovedá uhlu 0° .

Relatívna odozva neutrónovej sondy v intervale 0° až $\pm 90^\circ$ je menšia než $\pm 25 \%$ a spĺňa tak požiadavky normy IEC 61005:2014. Výsledok z merania relatívnej odozvy neutrónovej sondy PNM-02 v závislosti na uhle otočenia je uvedený v obrázku č. 5.



Obr. č. 5 Relatívne porovnanie nameranej a vypočítanej uhlovej závislosti neutrónovej sondy PNM-02. Chybové úsečky zodpovedajú štandardnej kombinovanej neistote, resp. 68 % pravdepodobnosti pokrytia

Uhlová závislosť odozvy neutrónovej sondy sa určila pomocou referenčného zdroja ^{252}Cf umiestneného vo vzdialenosti 1 m od stredu sondy. Sonda sa otáčala okolo jej vertikálnej osi s krokom 10° . Hodnota referenčného príkonu priestorového dávkového ekvivalentu mala v danej vzdialenosti hodnotu $(326,0 \pm 3,9) \mu\text{Sv/h}$.

6. Záver

Z výsledkov posudzovania uvedených v tomto protokole vyplýva, že uvedený typ meradla vyhovuje svojimi technickými charakteristikami, metrologickými charakteristikami a konštrukčným vyhotovením v rozsahu určeného použitia požiadavkám na daný druh meradla ustanovenými v prílohe č. 64 vyhlášky č. 161/2019 Z. z. a v technickej norme IEC 61005:2014 *Radiation protection instrumentation – Neutron ambient dose equivalent (rate) meters*. Pri posudzovaní neboli zistené žiadne nedostatky.

7. Údaje na meradle

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

8. Overenie meradla

Pri prvotnom a následnom overovaní sa vykoná skúška linearity odozvy neutrónovej sondy, resp. priame porovnanie nameranej a referenčnej 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}Cf , $^{241}\text{Am-Be}$ alebo $^{239}\text{Pu-Be}$ podľa článku 5, odsek Linearita odozvy tohto protokolu. Overenie sa považuje za úspešné, t. j. výsledok skúšky vyhovel, ak získané hodnoty nepresahujú horný limit + 25 % a spodný limit - 17 %. Ak pri skúške linearity 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. 2 roky.

9. Čas platnosti rozhodnutia

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

10. Umiestnenie overovacích značiek

Overovacia značka musí byť umiestnená na viditeľnom mieste meradla pod displejom, konkrétne na oblej valcovej časti zobrazovacej jednotky alebo na plochej časti pod madlom zobrazovacej jednotky meradla.
