

Realizace kalibračních svazků řady „**Narrow-spectra series**“ podle norem ISO 4037:2019 s hodnotami příkonu kermy ve vzduchu **méně než 200  $\mu\text{Gy}/\text{hod}$**  v Kalibrační laboratoři SÚRO.

L. Judas, D. Kurková, M. Vtelenská, V. Dufek  
Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.

Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037:2019; parametry svazků dlouhodobě udržovaných v Kalibrační laboratoři SÚRO

svazek	expoziční parametry	1. polotloušťka	koeficient homogenity	příkon kermy (Gy/s)	příkon kermy (μGy/hod)
<b>N40</b>	<b>40 kV / 19 mA</b>	2.75 mm Al	0.91	6.89E-06	<b>24 793</b>
<b>N60</b>	<b>60 kV / 19 mA</b>	0.23 mm Cu	0.90	1.09E-05	<b>39 337</b>
<b>N80</b>	<b>80 kV / 19 mA</b>	0.57 mm Cu	0.94	5.65E-06	<b>20 340</b>
<b>N100</b>	<b>100 kV / 19 mA</b>	1.08 mm Cu	0.97	2.62E-06	<b>9 421</b>
<b>N120</b>	<b>120 kV / 19 mA</b>	1.65 mm Cu	0.97	2.94E-06	<b>10 574</b>
<b>N150</b>	<b>150 kV / 19 mA</b>	2.24 mm Cu	0.95	2.20E-05	<b>79 256</b>
<b>N200</b>	<b>200 kV / 13 mA</b>	3.8 mm Cu	0.97	4.61E-06	<b>16 602</b>
<b>N250</b>	<b>250 kV / 13 mA</b>	5.0 mm Cu	0.99	5.54E-06	<b>19 927</b>
<b>N300</b>	<b>300 kV / 13 mA</b>	6.0 mm Cu	0.99	4.61E-06	<b>16 580</b>


## Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037; kalibrace měřidel příkonu veličiny $H^*(10)$

- Zadání: Provést energetickou kalibraci několika různých měřidel příkonu  $H^*(10)$  v rozsahu energií N80 až N300 (svazky „Narrow-spectra series“ dle norem řady ISO 4037:2019).

V případě, že měřidlo obsahuje dva detektory [např. NaI(Tl) a GM detektor], **stanovit energetickou závislost každého detektoru zvlášť.**

Součástí projektu MV ČR VI20192022156 Dozimetrie pro radiační nehody a incidenty v kontextu nových operačních veličin pro externí záření, hlavní řešitelka Ing. D. Ekendahl.

- Problém: Některá měřidla automaticky **přepínají na GM detektor** při překročení určité hranice příkonu  $H^*(10)$ , typicky **při hodnotě 50 až 100  $\mu\text{Sv/hod}$** . Příkony dlouhodobě udržovaných kalibračních svazků „N-series“ v referenčním bodě jsou ale o 2 až 3 řády vyšší, a není tedy možné provést kalibraci pro NaI(Tl) detektor.
- Příklady těchto měřidel: RT-30 Super Ident, GR-135 Plus, SPIR-Ace aj.



Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037 s nízkými příkony; možnosti snížení hodnoty příkonu kermy ve vzduchu

Možnosti řešení:

- a) Zvětšení ozařovací vzdálenosti  $d_{irrad}$
- b) Snížení anodového proudu rentgenky  $I_a$
- c) Kombinace a) + b)

Je proto nutno kvantifikovat, jak závisí příkon kermy ve vzduchu  $\dot{K}(d_{irrad}, I_a)$  na veličinách  $d_{irrad}$  a  $I_a$  .

Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037 s nízkými příkony; a) vliv ozařovací vzdálenosti  $d_{irrad}$  na hodnotu příkonu kermy ve vzduchu

$$I_a = I_{ref} = konst.$$

Kombinace dvou vlivů:

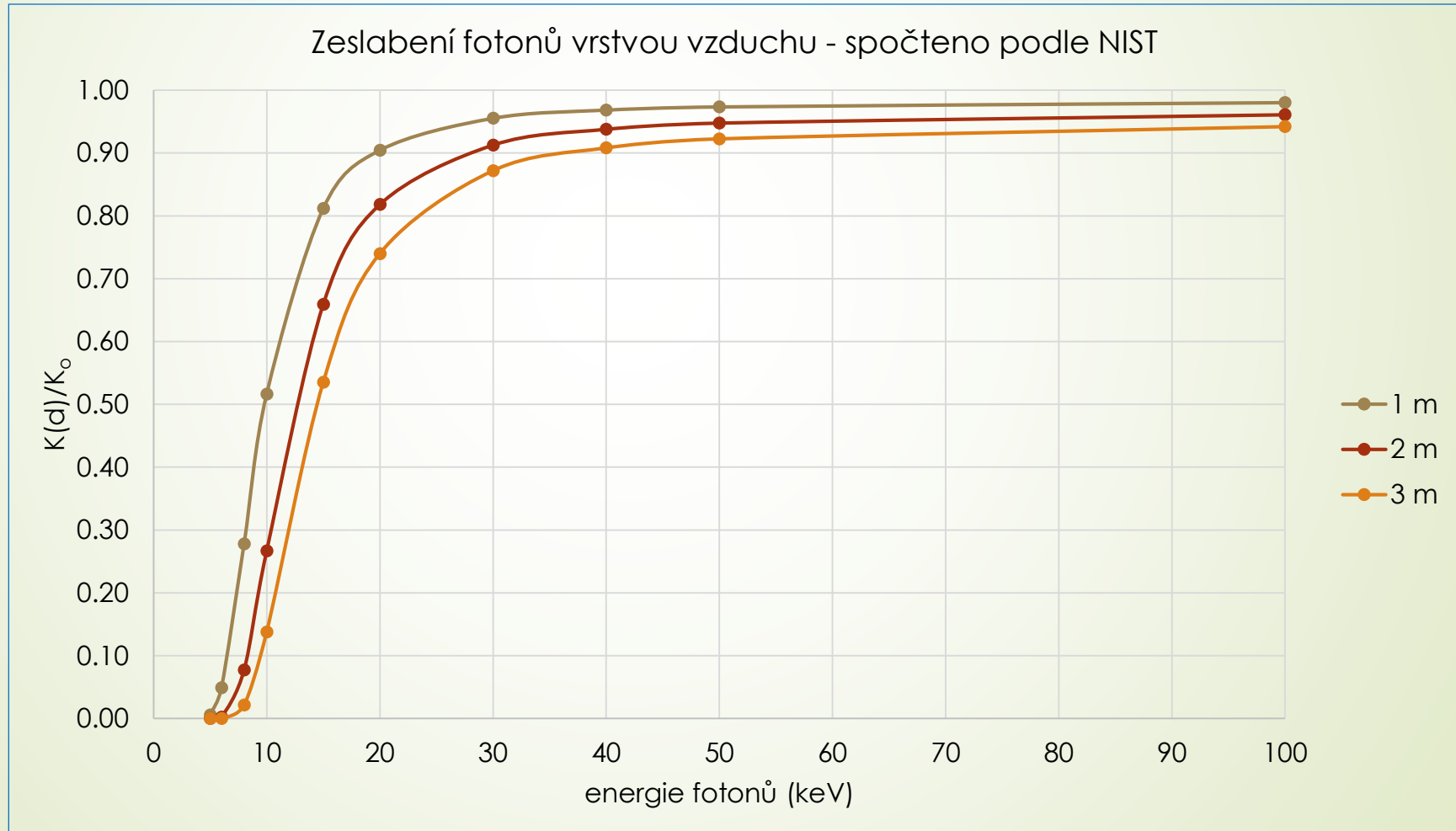
- a1) „inverse-square law“

$$\dot{K}(d_{irrad}) = \dot{K}(d_{ref}) \cdot \frac{d_{ref}^2}{d_{irrad}^2}$$

- a2) zeslabení svazku vrstvou vzduchu

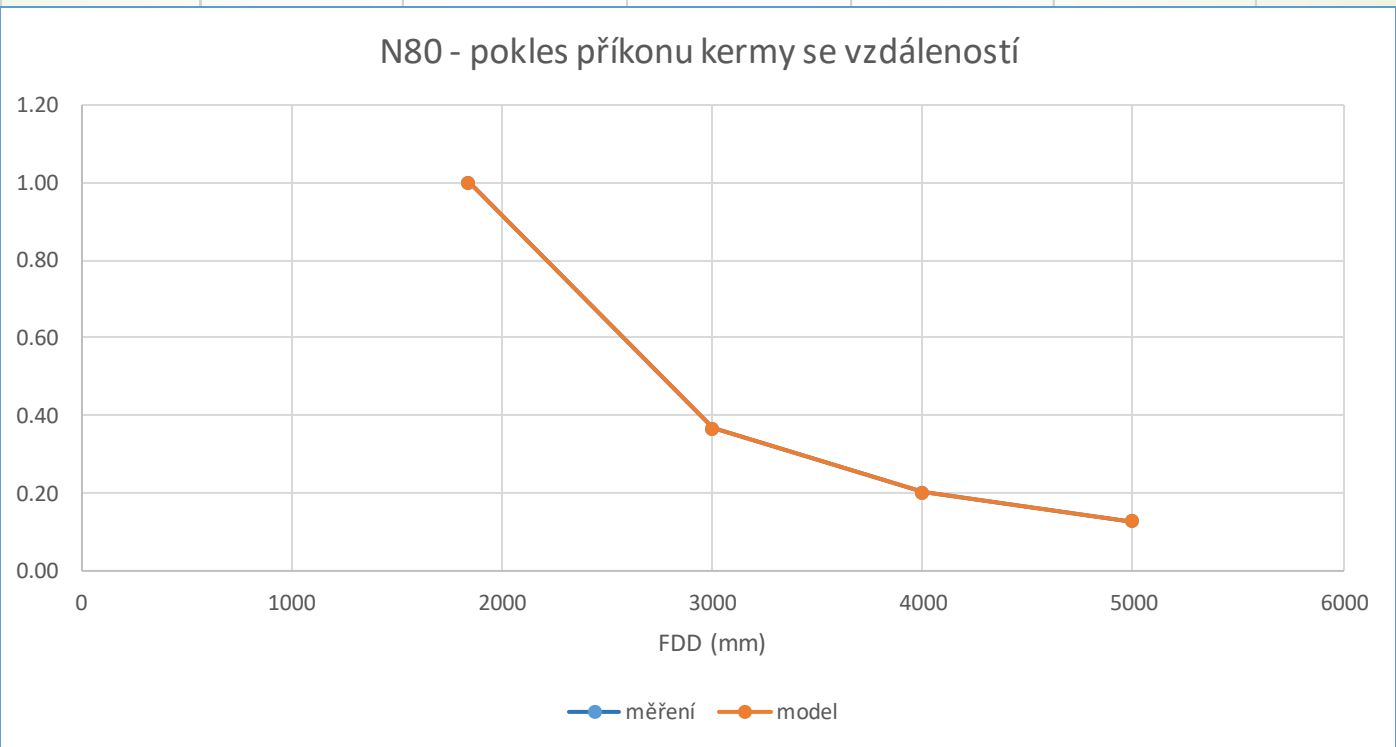
$$f_{att}(d_{irrad}, \bar{E}, p, T) = \exp \left[ -\mu_{air}(\bar{E}, \rho_0) \cdot \frac{\rho(p, T)}{\rho_0} \cdot (d_{irrad} - d_{ref}) \right]$$

Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037 s nízkými příkony; a) vliv ozařovací vzdálenosti  $d_{irrad}$  na hodnotu příkonu kermy ve vzduchu

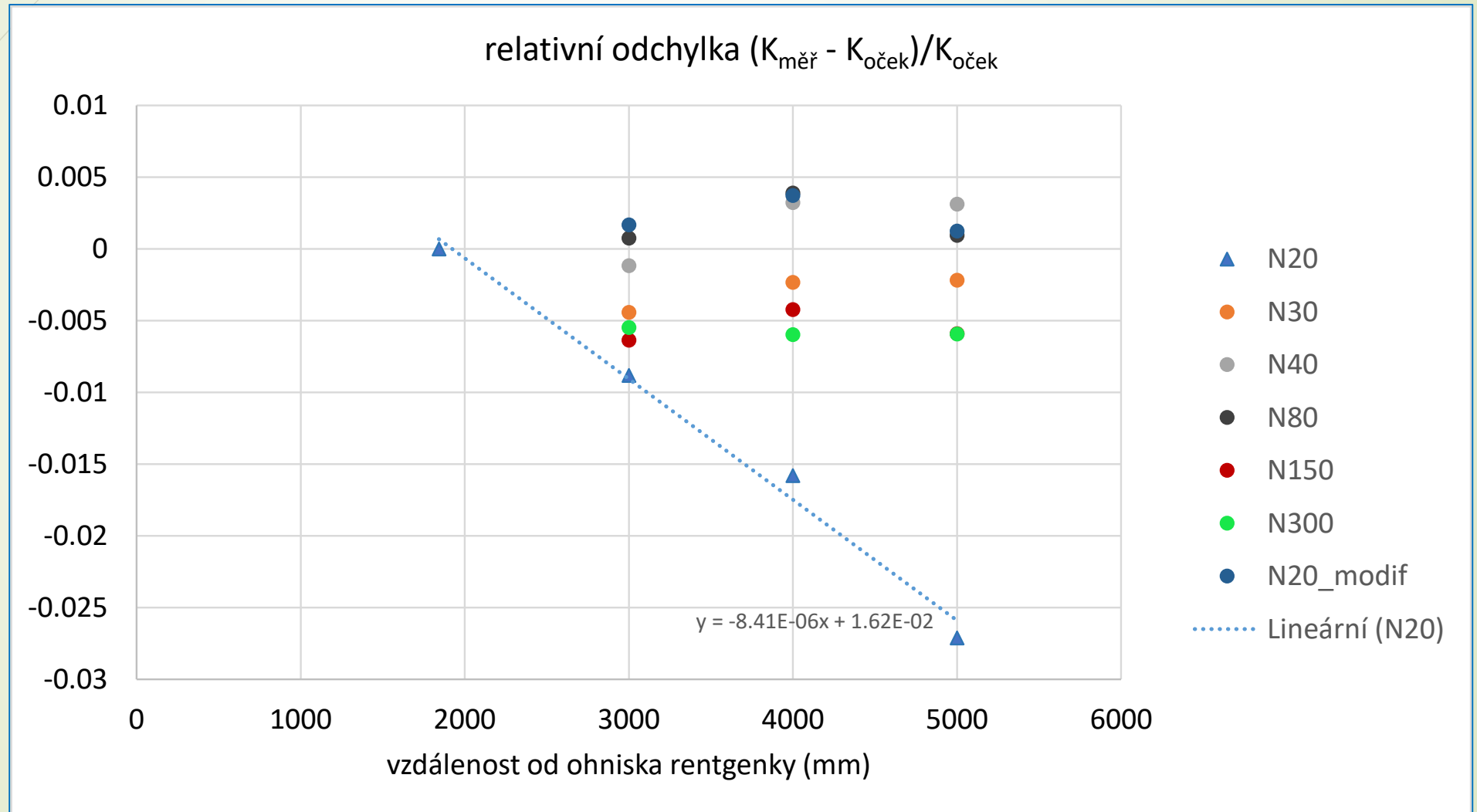


Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“  
 s nízkými příkony; a) vliv ozářovací  
 vzdálenosti - verifikace, vlastní měření

N80							
	vzdálenost od ohniska (mm)	odezva elektrometru (A)	odezva elektrometru relativně vůči 1842 mm	pomocný sloupec	očekávaná relativní odezva podle modelu	model / skutečnost	relativní odchylka modelu
	1842	1.397E-10	1.000E+00	2.182E+01	1.000E+00	1.000E+00	0.0%
	3000	5.122E-11	3.666E-01	8.005E+00	3.669E-01	1.001E+00	0.1%
	4000	2.811E-11	2.012E-01	4.407E+00	2.020E-01	1.004E+00	0.4%
	5000	1.766E-11	1.264E-01	2.761E+00	1.265E-01	1.001E+00	0.1%



# Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony; vliv vzdálenosti - verifikace, vlastní měření





Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony;  
b) vliv velikosti anodového proudu rentgenky  $I_a$  na hodnotu příkonu kermy ve vzduchu

$$d_{irrad} = d_{ref} = konst.$$

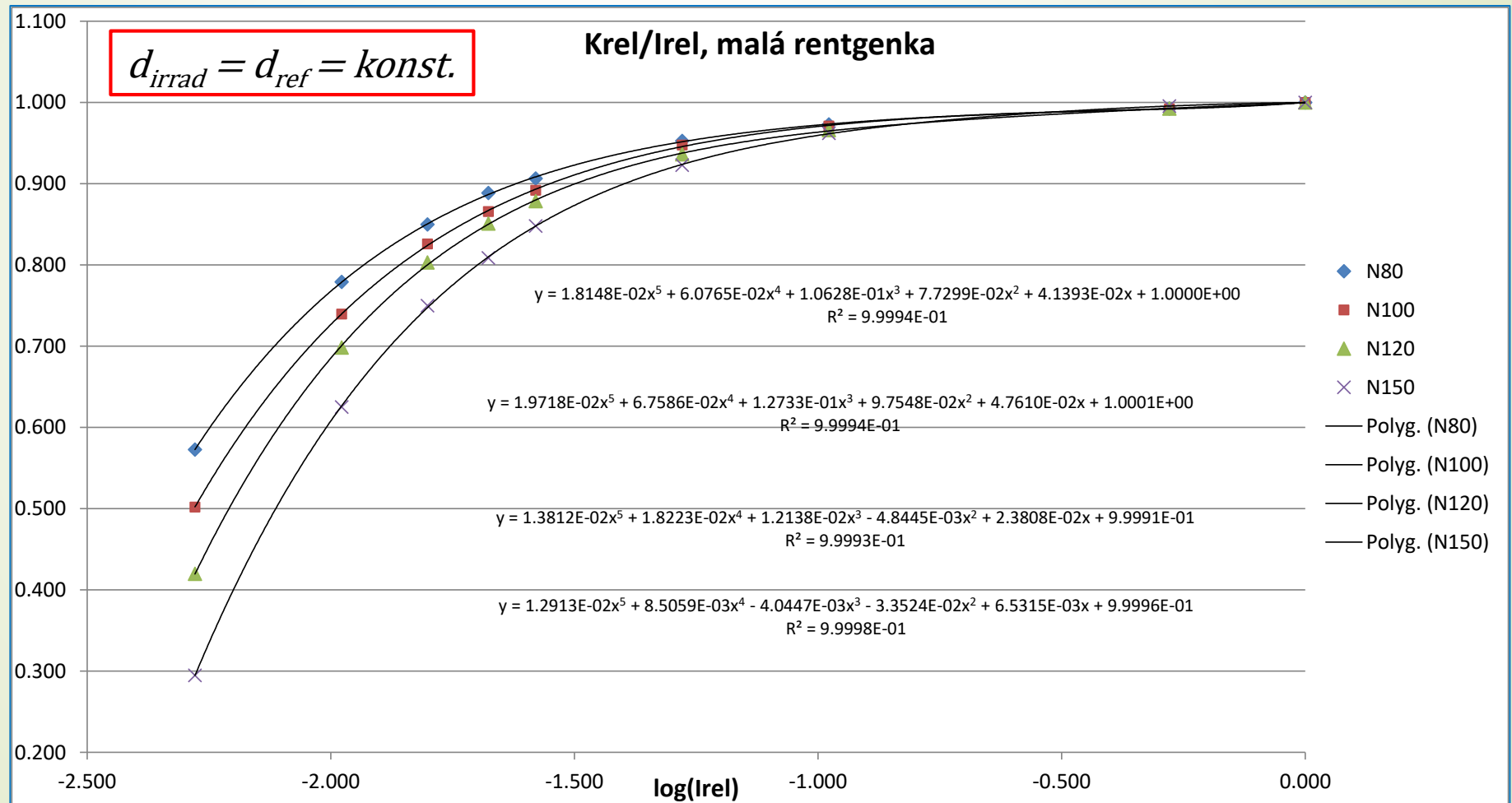
- b) pokles hodnoty příkonu kermy ve vzduchu při snížení anodového proudu rentgenky

$$\text{Označíme: } I_{rel} = \frac{I_a}{I_{ref}}, \dot{K}_{rel} = \frac{\dot{K}(I_a, U_a)}{\dot{K}(I_{ref}, U_a)}$$

$$\text{Pak platí } \frac{\dot{K}_{rel}}{I_{rel}} = f_2(I_{rel}, U_a) ,$$

kde průběh závislosti  $f_2(I_{rel}, U_a)$  je nutno zjistit měřením ionizační komorou (monitorovací nebo externí) pro každou používanou hodnotu napětí rentgenky  $U_a$ .

Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony;  
b) vliv velikosti anodového proudu rentgenky  $I_a$  na hodnotu příkonu kermy ve vzduchu



# Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037 s nízkými příkony; výsledný vztah

$$\blacktriangleright \dot{K}(d_{\text{irrad}}, I_a, U_a, p, T) = \dot{K}(d_{\text{ref}}, I_{\text{ref}}, U_a) \cdot \frac{d_{\text{ref}}^2}{d_{\text{irrad}}^2} \cdot f_{\text{att}}(d_{\text{irrad}}, \bar{E}, p, T) \cdot f_2(I_{\text{rel}}, U_a) \cdot I_{\text{rel}}$$

příkon kermy ve vzduchu  
za referenčních podmínek

„inverse-square law“

zeslabení svazku v důsledku absorpce ve vzduchu

závislost příkonu kermy ve vzduchu na nastavené  
hodnotě anodového proudu rentgenky

poměr nastavené a referenční hodnoty anodového  
proudu rentgenky

Pozn.: U svazku N20 je zeslabení vzduchem spočteno s uvážením tvaru energetického spektra, nikoli ze střední energie fotonů.

Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ podle norem řady ISO 4037 s nízkými příkony; výsledná nejistota (k = 1)

► 
$$\dot{K}(d_{\text{irrad}}, I_a, U_a, p, T) = \dot{K}(d_{\text{ref}}, I_{\text{ref}}, U_a) \cdot \frac{d_{\text{ref}}^2}{d_{\text{irrad}}^2} \cdot f_{\text{att}}(d_{\text{irrad}}, \bar{E}, p, T) \cdot f_2(I_{\text{rel}}, U_a) \cdot I_{\text{rel}}$$

typicky 1,2 %

0,4 %

2,0 %

**Celková nejistota 2,4 % (k = 1)**

## Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony; verifikace: mezilaboratorní porovnávací měření (ČMI)

Úkol KL SÚRO: stanovení kalibračního koeficientu ionizační komory (komora ND 1000) ve svazcích KL SÚRO s příkony kermy ve vzduchu 200  $\mu\text{Gy/hod}$ , 100  $\mu\text{Gy/hod}$  a 50  $\mu\text{Gy/hod}$  (celkem 15 svazků).

	N40	N60	N80	N100	N120	N150	N200	N250	N300
$\mu\text{Gy/hod}$	200	200	200, 100, 50	200	200, 100, 50	200	200, 100, 50	200	200

Kritérium: 
$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}, \text{ kde}$$

$x_{lab}$  označuje hodnotu naměřenou laboratoří,

$x_{ref}$  označuje referenční hodnotu,

$U_{lab}$  označuje nejistotu hodnoty naměřené laboratoří,

$U_{ref}$  označuje nejistotu referenční hodnoty.

## Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony; verifikace: mezilaboratorní porovnávací měření (ČMI)

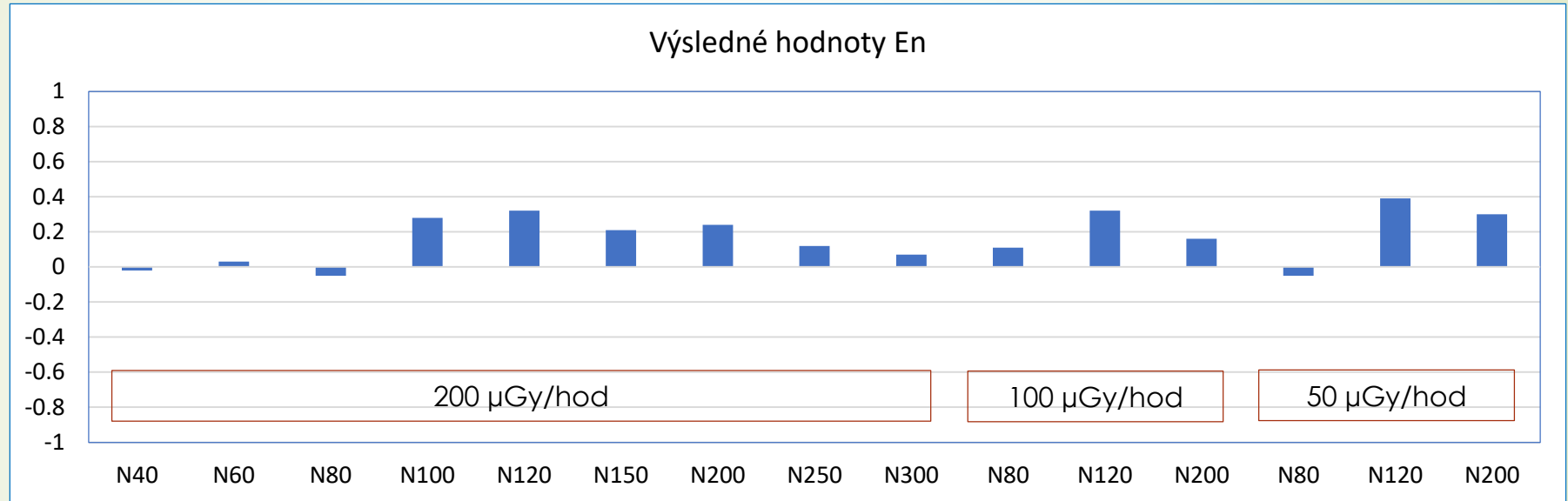
Kritérium: 
$$E_n = \frac{x_{lab} - x_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} .$$

Je-li splněna podmínka  $|E_n| \leq 1$ , je jednotlivé měření hodnoceno jako **vyhovující**. V případě, že  $|E_n| > 1$ , je jednotlivé měření hodnoceno jako nevyhovující.

Celkové hodnocení:

Účastník splňuje podmínky tohoto DMPZ, je-li jeho celková úspěšnost větší nebo rovna 90 % (tedy v našem případě počet vyhovujících měření  $\geq 14$ ).

## Kalibrační svazky „Narrow-spectra series“ s nízkými příkony; verifikace: mezilaboratorní porovnávací měření (ČMI)



Tím byla dokončena verifikace a validace nového postupu a svazky „N-series“ s nízkými příkony kermy mohou být používány v běžné činnosti KL SÚRO.

Nezbytností jsou samozřejmě pravidelné interní kontroly kvality a celkové dodržování systému jakosti podle ISO 17025:2018, včetně účasti ve vhodně zvolených mezilaboratorních porovnávacích měřeních.



Děkujeme za pozornost.

L. Judas, D. Kurková, M. Vtelenská, V. Dufek  
Státní ústav radiační ochrany, v.v.i.