



Odborná konferencia Mladej generácie Slovenskej nukleárnej spoločnosti  
Častá – Papiernička, 26. apríl 2018



# Porovnanie deterministických a stochastických výpočtových prostriedkov pri výpočtoch v oblasti optimalizácie radiačnej ochrany v priebehu vyrad'ovania jadrových zariadení

**Autori: Dávid Bednár<sup>1,2</sup>, Martin Lištjak<sup>2</sup>, Andrej Slimák<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulta  
elektrotechniky a informatiky, Slovenská republika

<sup>2</sup>VUJE, a.s., Okružná 5, 918 64 Trnava, Slovenská republika






## OBSAH PREZENTÁCIE

1. Úvod
2. Predstavenie geometrií modelov
3. Popis výpočtových prostriedkov
4. Porovnanie a analýza výsledkov
5. Zhodnotenie práce a hlavné závery



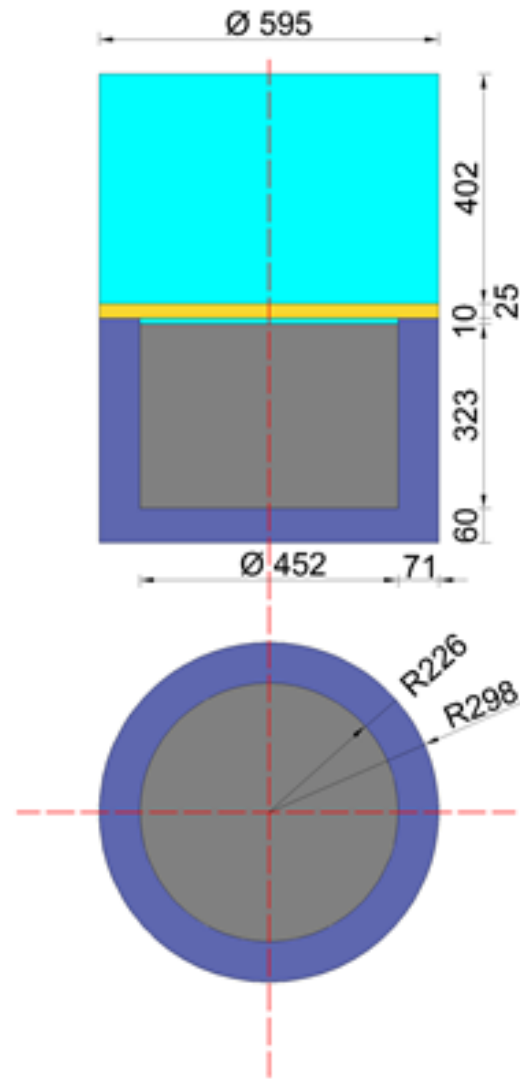
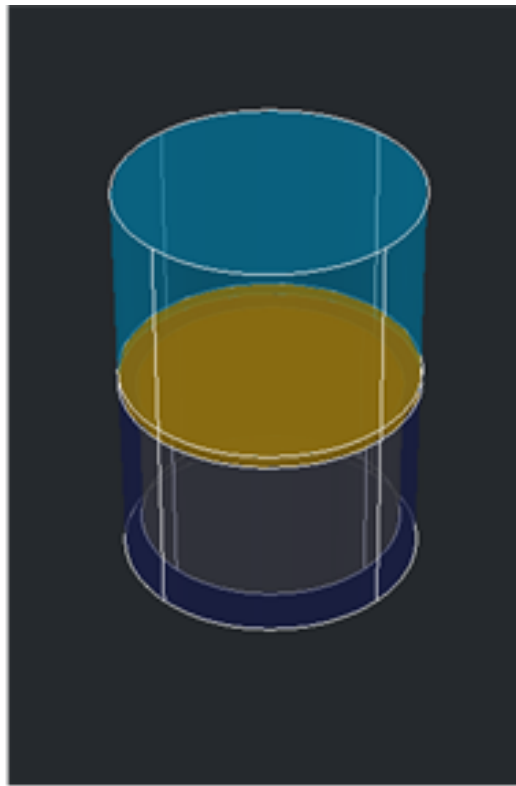
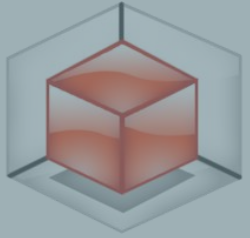
## ÚVOD

- Výpočty za účelom hodnotenia radiačnej zát'aže pracovníkov 
- Stochastické alebo deterministické výpočtové prostriedky?
- MCNP, Visiplan, Microshield a Mercurad



## GEOMETRIE VÝPOČTOV

- Bodový zdroj a Predbetónovaný MEVA sud s cementovým produktom
- Bod výpočtu PED: 52 cm, 102 cm, 202 cm
- II typov tienenia – olovo a železo
- Monoenergetický zdroj  $^{137}\text{Cs}$  s aktivitou **I GBq**



POZNÁMKA:

- CEMENTOVÝ PRODUKT
- VZDUCHOVÁ MEDZERA
- PREDBETÓNOVANÁ STENA
- OLOVENÉ VEKO

Obr. 2 Ilustrácia a schéma predbetónovaného MEVA sudu s cementovým produktom



## VÝPOČET PED POMOCOU MCNP

- Bodový detektor – odhad fluencie v bode

$$F5 = w \frac{p(\mu)}{2\pi R^2} e^{-\int_0^R -\Sigma_t(s) ds}$$

- Konverzné koeficienty (AP geometria) z ICRP 60
- Metódy znižovania rozptylu (z anj.: Variance reduction)
- Štatistická odchýlka menej ako 1 %



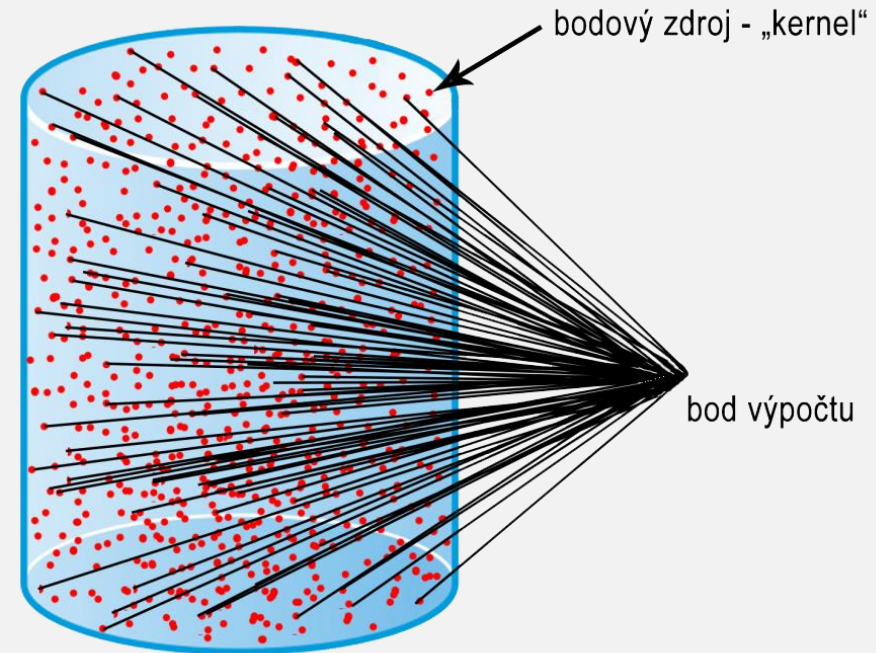
# VÝPOČET PED POMOCOU VISIPLANU

- „point – kernel“ integrácia

$$D = \sum_{j=1}^m (h)_{j,AP} \left[ \int_V B(x, E, \mu) \frac{S_0}{4\pi r^2} e^{-\sum_{i=1}^n \mu_i(E) x_i} dV \right]_j$$

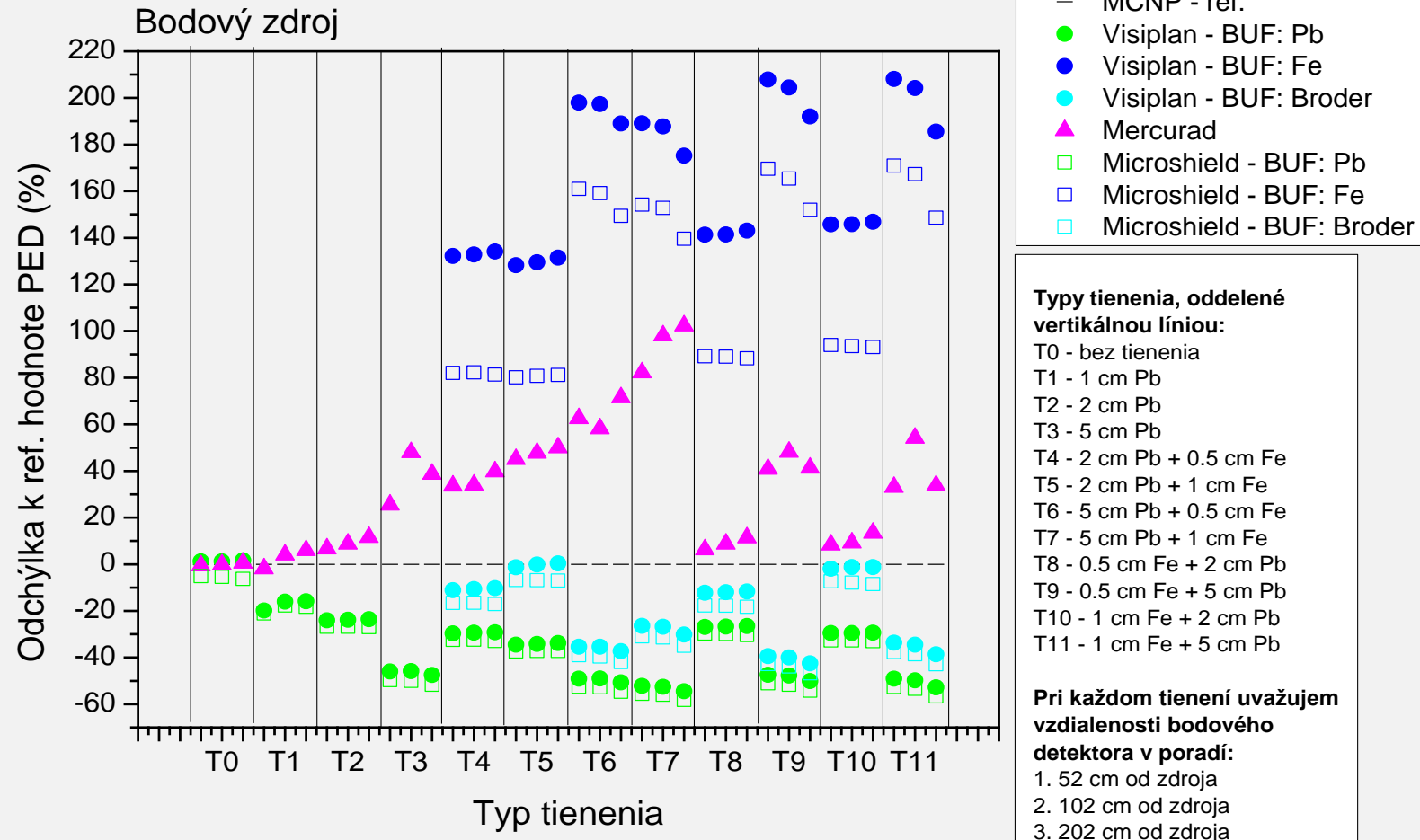
- Vzrastové faktory materiálov
- Broder-ov vzťah

$$B \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) = B \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right) + \left[ B_N \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) - B_N \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right) \right]$$



Obr. I Ilustrácia „point - kernel“ integrácie

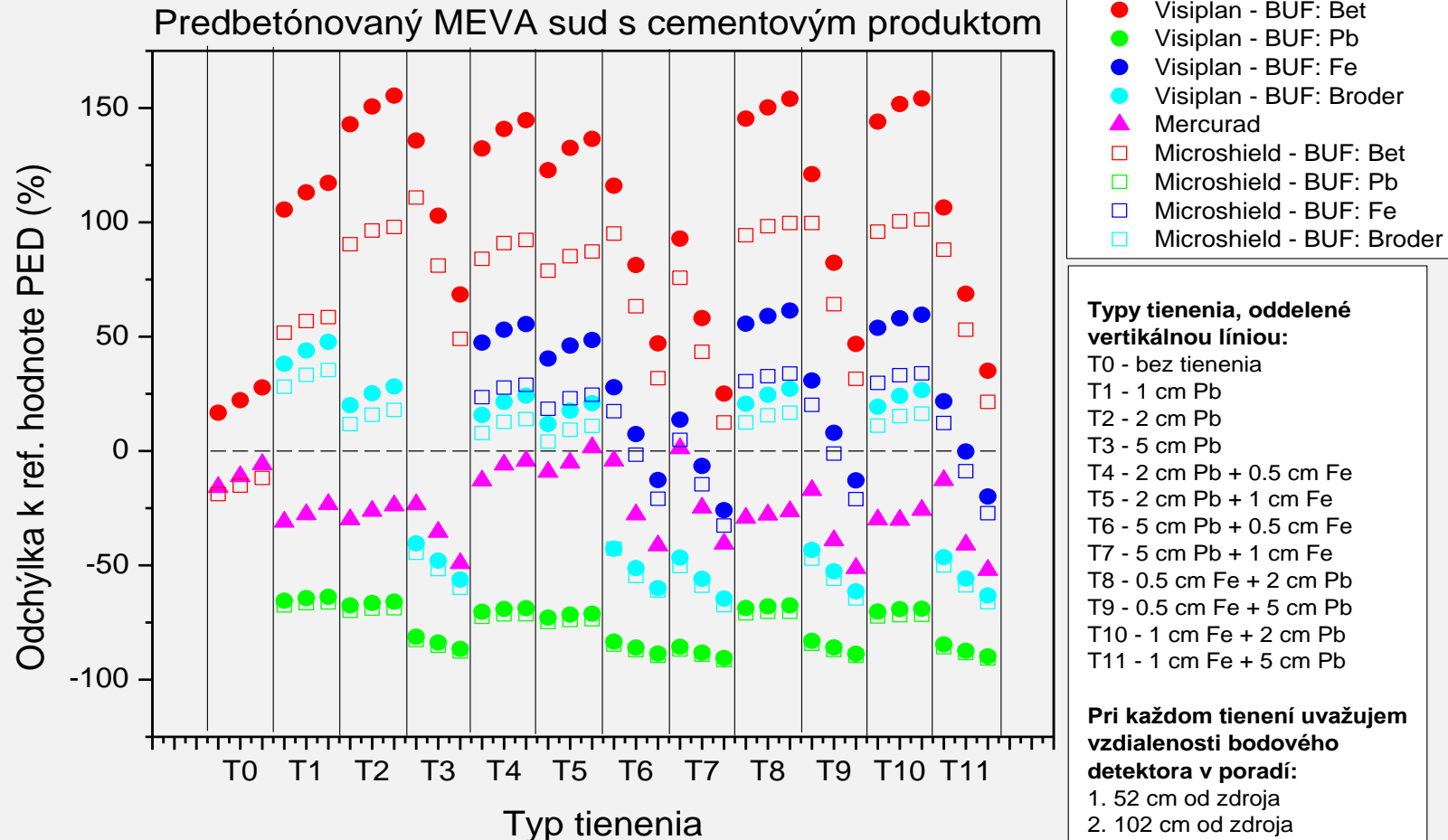
# VÝSLEDKY



Obr. 3 Porovnanie výpočtov pre geometriu s bodovým žiaričom.



# VÝSLEDKY



Obr. 4 Porovnanie výpočtov pre geometriu s predbetónovaným MEVA sudom.



## ZHODNOTENIE A HLAVNÉ ZÁVERY

- Výsledky sú silno závislé od zvoleného vzrastového faktoru
  - konzervatívny prístup
  - najvýznamnejší materiál
  - vzťahy na výpočet BUF (Broder, Harima – Nishiwaki, Lin and Jiang a i.)
- Broder-ov vzťah je dobrá voľba pri jednoduchých geometriách s viacvrstvovým tienením
- Pri komplexných geometriách je vhodné použiť Monte Carlo



ĎAKUJEM ZA POZORNOSŤ

## „POINT - KERNEL“ INTEGRÁCIA

$$D = \sum_{j=1}^m (h)_{j,AP} \left[ \int_V B(x, E, \mu) \frac{S_0}{4\pi r^2} e^{-\sum_{i=1}^n \mu_i(E)x_i} dV \right]_j$$

- $(h)_j$  sú konverzné koeficienty z publikácie ICRP 51 závislé na energii incidenčného žiarenia, ktoré používa Visiplan [ $\text{pSv.cm}^2$ ],
- $B(x, E, \mu)$  je vzrastový faktor závislý od hrúbky materiálu absorbátora, energii incidenčného žiarenia a materiálu [-],
- $S_0$  je emitancia zdroja [ $\text{s}^{-1}$ ],
- $\frac{1}{4\pi r^2}$  je geometrický faktor [ $\text{cm}^{-2}$ ],
- $\mu_i$  je lineárny súčiniteľ zoslabenia i-teho materiálu absorbátora v geometrii,
- $x_i$  je hrúbka i-teho materiálu absorbátora v geometrii.

## BRODER-OV VZŤAH

$$B \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) = B \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right) + \left[ B_N \left( \sum_{i=1}^N x_i \right) - B_N \left( \sum_{i=1}^{N-1} x_i \right) \right]$$

- kde  $x_i$  je hrúbka  $i$ -tej vrstvy tienenia v stredných voľných dráhach,
- $B_N$  je vzrastový faktor pre najvzdialenejšiu vrstvu tienenia
- $B$  je kombinovaný vzrastový faktor, pretože tento vzťah je rekurentný

## BODOVÝ DETEKTOR F5

$$F5 = w \frac{p(\mu)}{2\pi R^2} e^{-\int_0^R -\Sigma_t(s) ds}$$

- $e^{-\int_0^R -\Sigma_t(s) ds}$  je celkové zoslabenie medzi bodom, kde sa odohrala nejaká udalosť a bodovým detektorom
- $p(\mu)$  je pravdepodobnosť, že sa častica rozptýli v smere bodového detektora namiesto smeru, ktorý bol určený metódou Monte Carlo
- $\frac{1}{2\pi R^2}$  je geometrický faktor, pričom R zodpovedá vzdialenosti bodu, kde nastala udalosť a bodového detektora
- $w$  je váha častice.