

# Eliminace radonu ze vzduchu

Karel Smolek, Ivan Štekl, Fadahat Mamedov,  
Rastislav Hodák, Petr Kouba

*ČVUT v Praze*

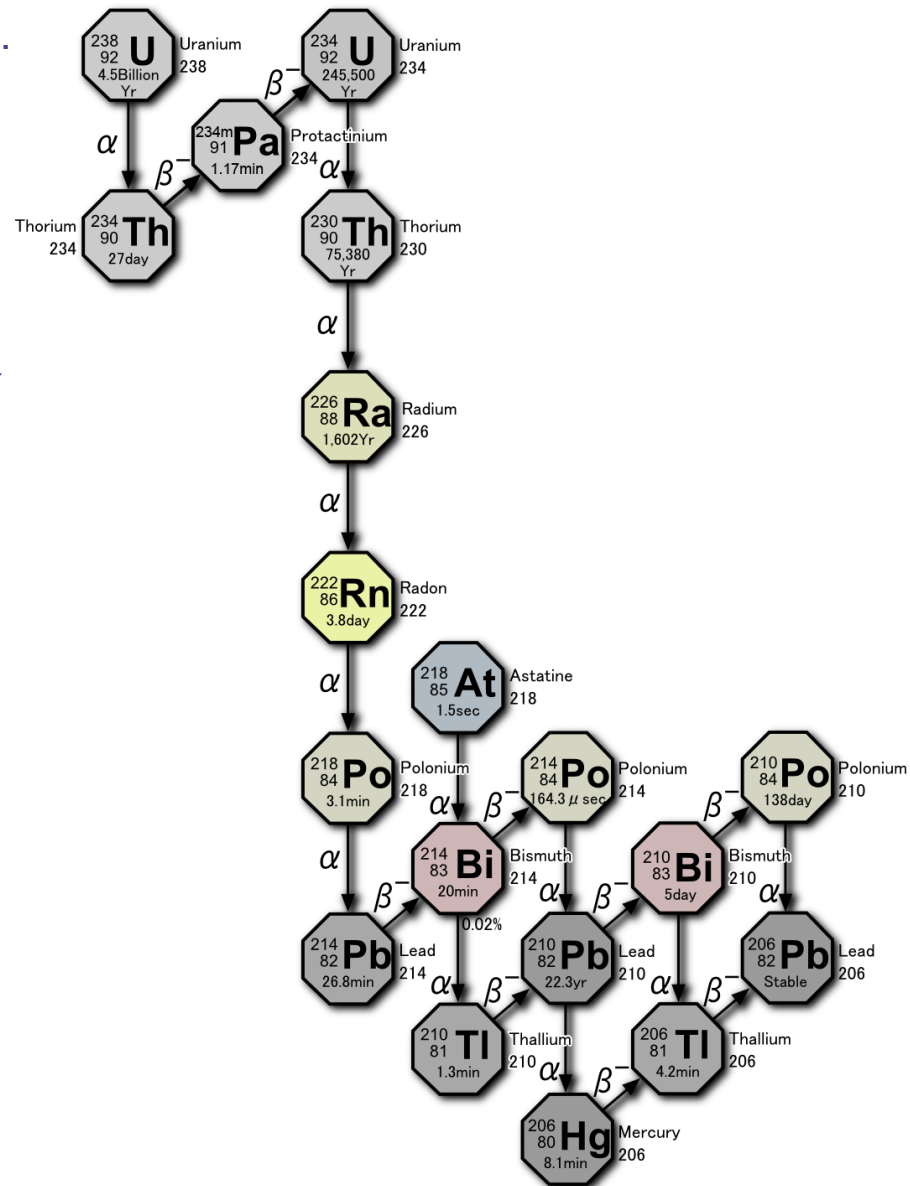
*Ústav technické a experimentální fyziky*

Jiří Hůlka

*SÚRO*

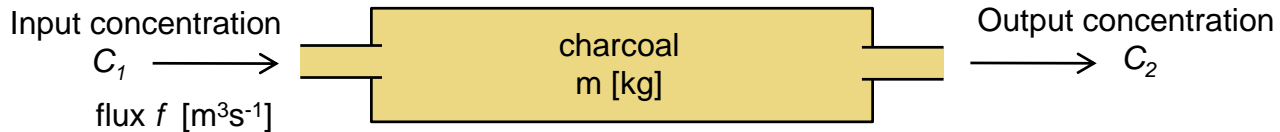
# Proč je potřeba odstraňovat radon ze vzduchu

- Rn a jeho dceřiné produkty jsou radioaktivní. (poločas rozpadu Rn: 3.8 dne)
- Aktivita venkovního vzduchu: 5 Bq/m<sup>3</sup> (může být i 100 Bq/m<sup>3</sup>!), uvnitř budov typicky 50 Bq/m<sup>3</sup> (může být až 100 000 Bq/m<sup>3</sup>!).
- Alfa a beta částice vzniklé z rozpadu zvyšují pozadí při velmi citlivém měření => požadavek na aktivitu vzduchu na úrovni mBq/m<sup>3</sup>. Technologie na odstraňování radonu jsou využívány v podzemních laboratořích (LSM, Gran Sasso,...)
- Při výrobě elektronických součástek mohou dceřiná radioaktivní jádra kontaminovat polovodičový materiál, následné rozpady těchto jader mohou způsobovat falešné elektronické signály => využití v elektronickém průmyslu.



# Technologie

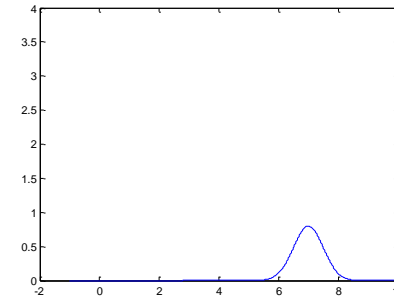
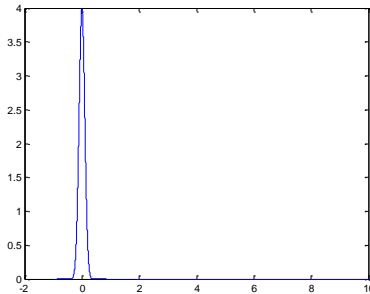
- Při průchodu vzduchu skrz kolonu s aktivním uhlím jsou vlivem Van der Waalsových sil atomy Rn zachytávány (adsorbovány) na povrchu částic aktivního uhlí. Pokud je doba zdržení atomu Rn v koloně dostatečná, atomy Rn se rozpadnou na neplynné produkty, které zůstanou v adsorbentu.



- Účinnost adsorpce aktivního uhlí exponenciálně klesá s teplotou => chlazení.
- Možnost regenerace uhlí zahřátím.

# Dynamický model adsorpce plynu v aktivním uhlí

- Model chromatografické adsorpce plynu založený na destilační teorii, která předpokládá, že sloupec adsorbčního materiálu lze rozdělit na  $N$  vrstev, ve kterých je dosaženo rovnováhy.



$$C_1^{(\delta)}(t) = \delta(t), \quad \int C_1^{(\delta)}(t) dt = 1$$

$$C_2^{(\delta)}(t), \quad \int_0^\infty C_2^{(\delta)}(t) dt < 1$$

$$C_2^{(\delta)}(t) = \frac{N^N (t/T)^{N-1} e^{-N(t/T)} e^{-\lambda t}}{T(N-1)!} e^{-\lambda t}, \quad T = \frac{km}{f}$$

$$\int_0^\infty \frac{C_2^{(\delta)}(t)}{e^{-\lambda t}} dt = 1$$

Maximum píku nastává v čase  $t_{max} \doteq T \left(1 - \frac{1}{N}\right)$

$\lambda = 2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  - rozpadová konstanta  $Rn$

$T$  - retenční doba

$k$  - koeficient dynamické adsorpce

$N$  - počet elementárních vrstev, ve kterých nastává rovnováha (závisí na  $f$ , teplotě, dané van Deemterovou rovnicí)

- Obecný průběh  $C_1(t)$

$$C_1(t) = \int \delta(t - \tau) C_1(\tau) d\tau$$

- Na výstupu z kolony naměříme

$$C_2(t) = \int C_2^{(\delta)}(t - \tau) C_1(\tau) d\tau$$

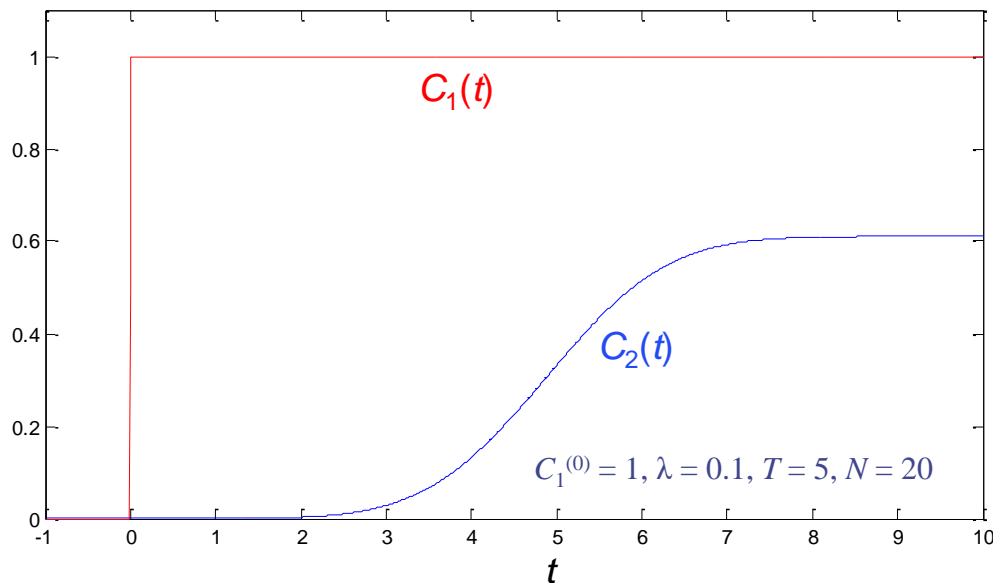
# Dynamický model – skoková funkce

- Skoková funkce

$$C_1(t) = \begin{cases} 0 & \text{pro } t < 0 \\ C_1^{(0)} & \text{pro } t \geq 0 \end{cases}$$

- Na výstupu z kolony naměříme

$$C_2(t) = C_1^{(0)} e^{-\lambda T + \frac{(\lambda T)^2}{2N}} \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{2}\left(\frac{\lambda T^2}{2} - \frac{NT}{2} + \frac{Nt}{2}\right)}{\sqrt{NT}}\right) + 1}{2}$$



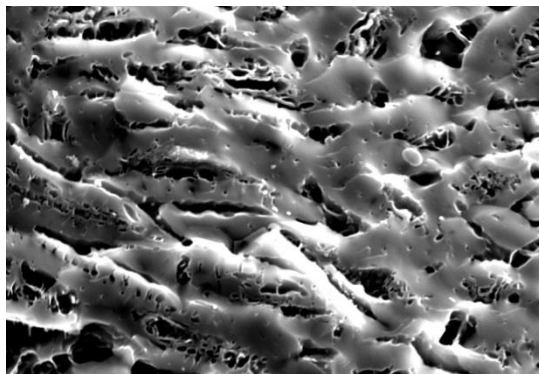
$$\lim_{t \rightarrow \infty} C_2(t) = C_1^{(0)} e^{-\lambda T + \frac{(\lambda T)^2}{2N}}$$

# Realizace – LSM v Modane

- ÚTEF se zabývá touto technologií ve spolupráci s firmou ATEKO a.s.



- Zařízení na čištění vzduchu v LSM v Modane pro potřeby experimentu NEMO.
- V činnosti 9 let, 2x500 kg aktivního uhlí,  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tok vzduchu  $150\text{ m}^3/\text{h}$ .
- V současné době zařízení vypnuto. Studujeme vlastnosti použitého aktivního uhlí (kontaminace, analýza částic adsorbentu naším elektronovým mikroskopem,...).



vz\_2-1-1-lom\_2  
MAG: 1000 x HV: 20.0 kV WD: 37.0 mm



# Realizace – SÚRO v Praze

- Vyvinuto kompaktní zařízení pro potřeby testování vyvíjených technologií, ale i pro potřeby měření velmi nízkých aktivit ve Státním ústavu pro radiační ochranu.



Obrázek 2. Ocelový kontejner s antradoxovým zařízením v SÚRO



Obrázek 3. Fotografie jednotlivých částí prototypu zařízení pro dosažení extrémně nízké koncentrace radonu (řídící jednotka a kompresor se vzdušníkem; adsorpční sušička, odběrní ventily a měřící zařízení; chladič box).

# Závěr

- ÚTEF má dlouholeté zkušenosti s technologiemi odstraňování radonu pro potřeby podzemních experimentů.
- Ovládáme dynamický popis adsorpce Rn v aktivním uhlí.
- Přímá spolupráce se soukromou firmou ATEKO a.s. vedla k realizaci několika zakázek na výrobu „odradonovacího“ zařízení pro podzemní laboratoře. Platba provize ÚTEFu z každé zakázky, kterou ATEKO uskuteční.
- V přípravě je patent na ochranu originálních technologií použitých v posledním zařízení.