

PŘÍRODNÍ RADIOAKTIVITA A STAVEBNICTVÍ



SEZIT PLUS s.r.o.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



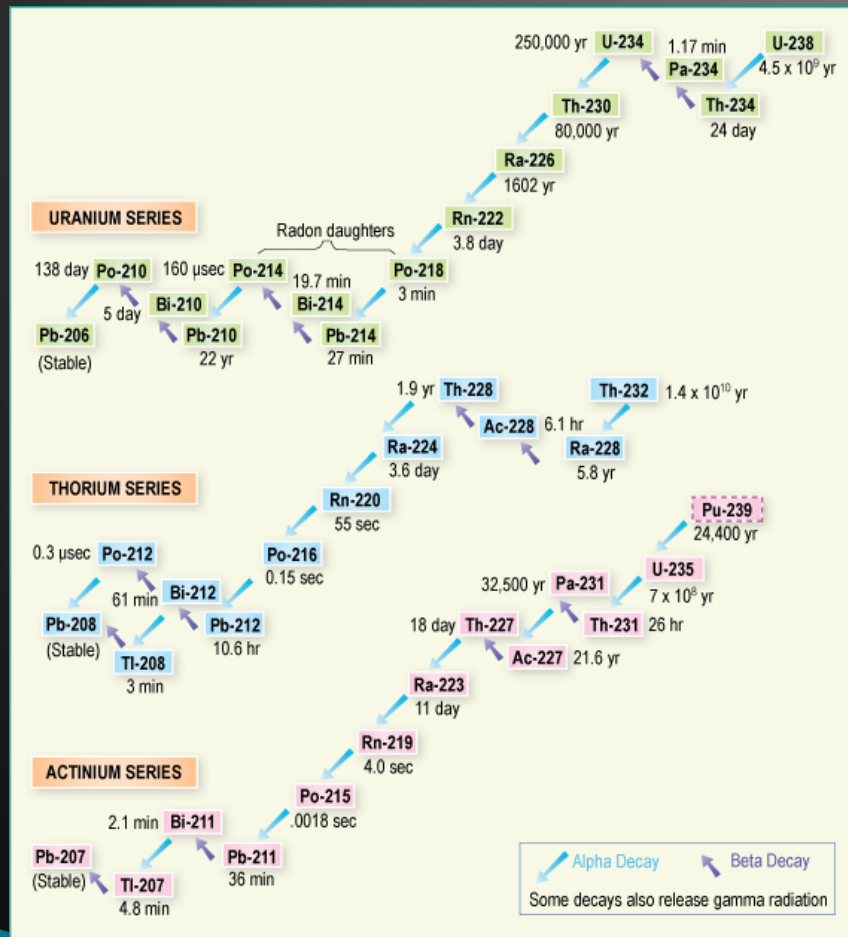
STŘEDNÍ
PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA
STAVEBNÍ
OPAVA

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Co je to radioaktivita?

- ▶ Přírodní (přirozená) radioaktivita je jev, kdy dochází k samovolné přeměně nestabilních jader na jiná jádra. Tento proces se označuje jako radioaktivní rozpad nebo přeměna a látky, které se takto mění jsou radionuklidy. Kromě přírodních radionuklidů jsou rovněž i umělé, které vznikají např. v jaderných reaktorech (řetězová reakce), transmutací nebo v urychlovačích částic. Rozpadová řada (též přeměnová řada nebo radioaktivní řada) popisuje postupný radioaktivní rozpad nestabilních jader těžkých prvků. Rozpad v těchto řadách probíhá vždy vyzařováním částic alfa (jader helia) nebo beta (elektronů). S výjimkou neptuniové řady začínají všechny základní řady relativně stabilním, v přírodě se běžně vyskytujícím izotopem (ze skupiny aktinoidů), s poločasem rozpadu nad půl miliardy let. Na konci každé rozpadové řady je stabilní izotop. Alfa, beta a gama záření má různou schopnost pronikat hmotou. Nejkratší dosah má alfa záření, které lze zastavit listem papíru; gama záření má vysokou pronikavost a lze je zeslabit materiály s vysokou hustotou (např. olovo).

Přírodní radioaktivní řady



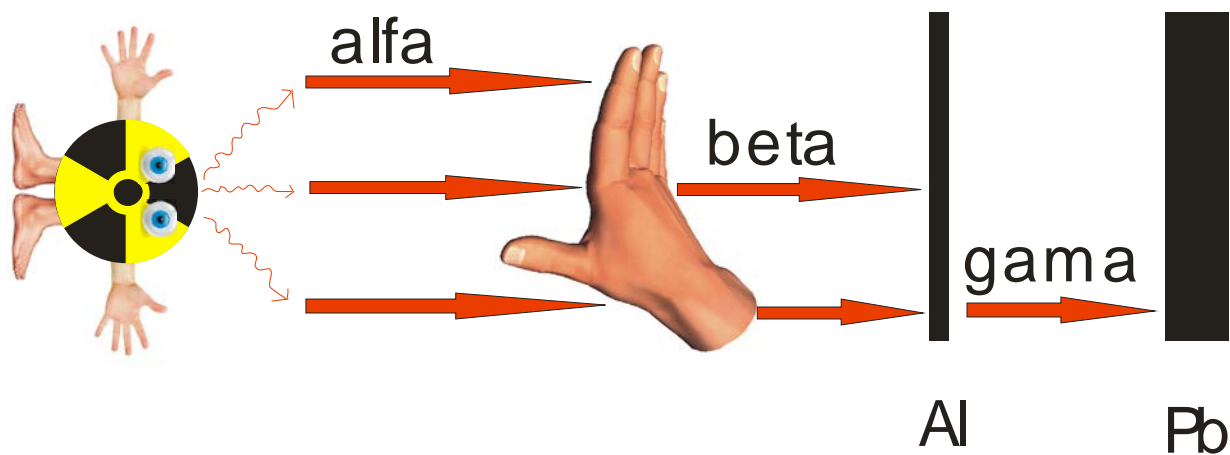
▶ U-238

▶ U-235

▶ Th-232

- ▶ Poznatky o radioaktivních rozpadech a poločasu rozpadu využívá např. radiokarbonová metoda datování v archeologii. Těla lidí, zvířat i rostlin obsahují uhlík v izotopech ^{12}C ^{13}C ^{14}C , z čehož poslední uhlík je radioaktivní. Pokud je organismus naživu, poměr mezi izotopy je stálý. Rozpadající se ^{14}C se metabolickými procesy doplňuje z atmosféry, kde neustále vzniká působením kosmického záření. Když organismus uhynie, přestane si vyměňovat uhlík s okolím a poměr se začne měnit, takže z tohoto poměru lze určit stáří archeologického nálezů.
- ▶ Radioaktivní přeměna je doprovázená emisí jaderného záření. Jedná se o rychlé nabitě částice nebo krátkovlnné elektromagnetické záření, označované jako gama záření. Podle způsobu radioaktivní přeměny a druhu emitovaného záření rozlišujeme radioaktivitu alfa a beta. Alfa záření je proud heliových jader ^4He . Při alfa rozpadu má následující izotop menší hmotnostní číslo o 4. Beta záření je vlastně proud elektronů (hmotnostní číslo je stejné, ale atomové číslo se zmenší o 1). Gama záření je elektromagnetické záření s krátkou vlnovou délkou (jevy – fotoefekt, Comptonův rozptyl, tvorba párů).

Pronikání záření hmotou



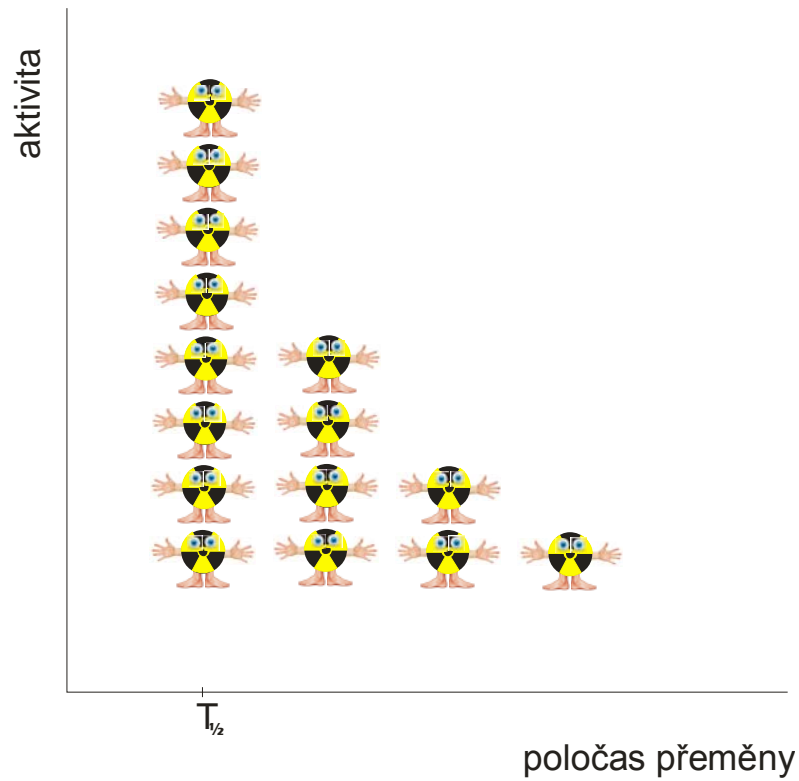
Zákon radioaktivního rozpadu

- ▶ Vlastnosti radioaktivního rozpadu lze zkoumat pomocí **statistických** metod.
- ▶ Předpokládejme, že za **časový** interval dt dojde k rozpadu dn **atomů** radioaktivní látky. Počet rozpadlých atomů dn je úměrný počtu částic v daném časovém okamžiku, který označíme n . Tuto úměru lze vyjádřit vztahem
 - ▶ $-dn = \lambda \cdot n \cdot dt$
 - ▶ kde λ je tzv. **rozpadová konstanta**, která charakterizuje předpokládanou **rychlost** rozpadu **radionuklidu**. Znaménko $-$ souvisí s tím, že s rostoucím časem dochází k poklesu okamžitého počtu částic.
 - ▶ **Integrací** předchozího vztahu můžeme počet částic v čase t vyjádřit jako
 - ▶ $n = n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
 - ▶ kde n_0 představuje počet částic v čase $t = 0$. Tento vztah se označuje jako **zákon radioaktivního rozpadu**.
 - ▶ Pro praktické využití je vhodnější využít úměry mezi počtem částic a jejich celkovou **hmotností**, tzn. hmotností radioaktivního vzorku m . Předchozí vztah pak můžeme přepsat ve tvaru
 - ▶ $m = m_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
 - ▶ kde m_0 je počáteční hmotnost radioaktivního vzorku a m je jeho hmotnost v čase t .

Poločas rozpadu

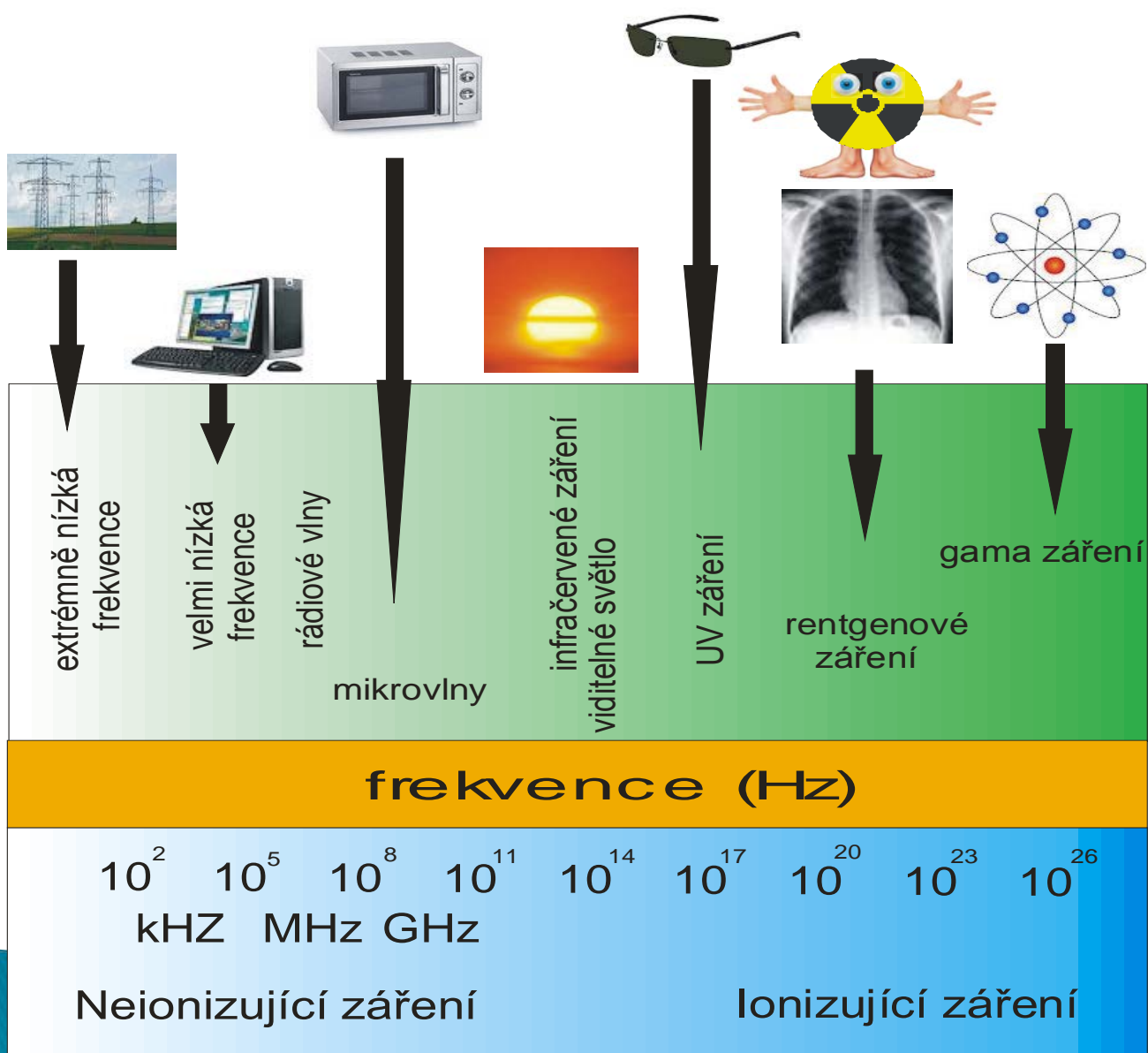
- ▶ Doba, za kterou dojde k rozpadu poloviny z původního počtu atomů radionuklidu, se označuje jako poločas rozpadu T . Počet částic po uplynutí této doby je $n = n_0/2$, čímž dostaneme pro poločas rozpadu vztah
- ▶ $T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda$

Radioaktivní rozpad

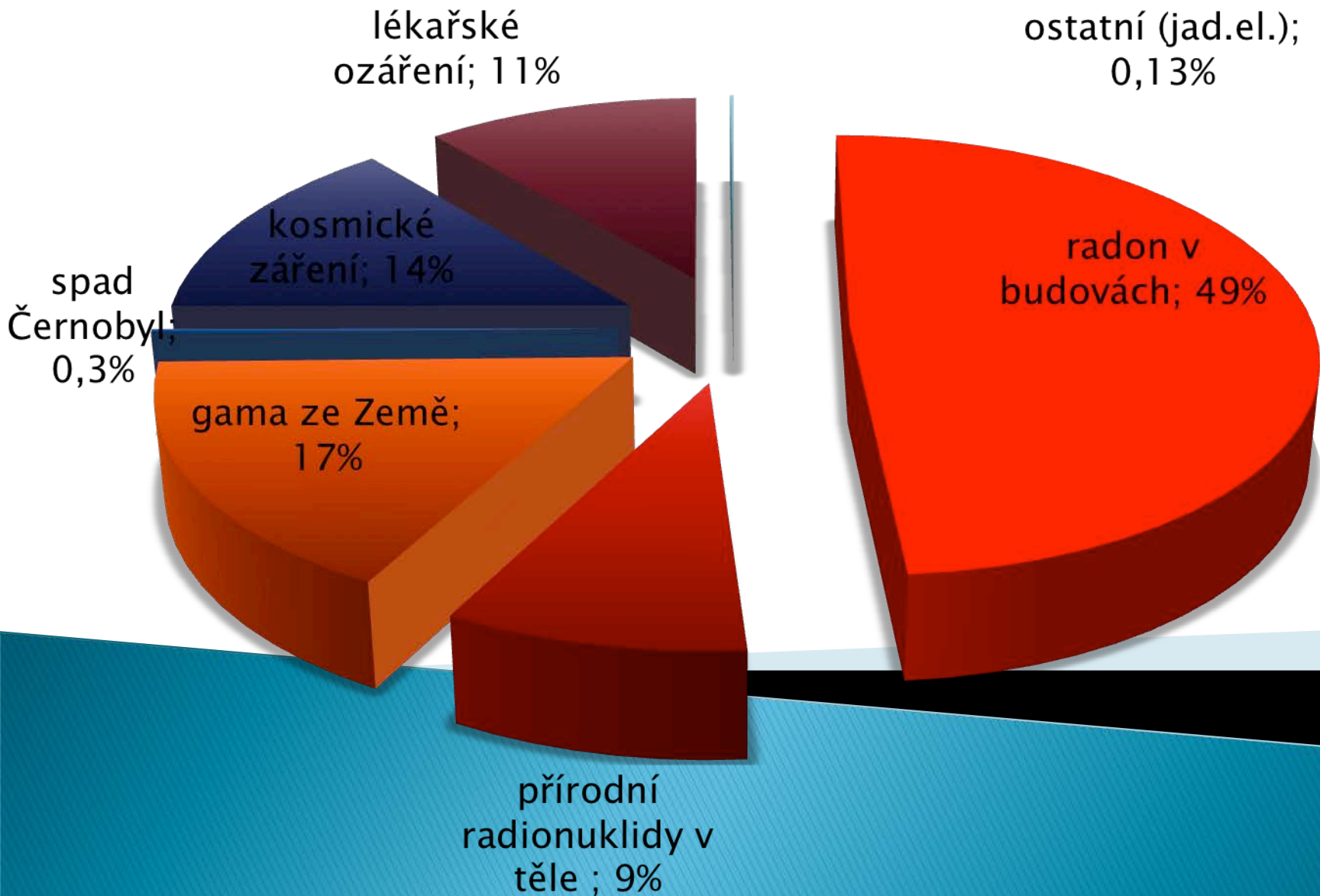


Aktivita

- ▶ Rychlost radioaktivní přeměny charakterizuje **aktivita (radioaktivita)** A , kterou se definuje vztahem
- ▶ $A = dn/dt$
- ▶ Dosazením z předchozích vztahů dostaneme
- ▶ $A = \lambda \cdot n = \lambda \cdot n_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- ▶ kde A_0 označuje aktivitu v počátečním čase a A je aktivita v čase t . Aktivita, tedy rychlost rozpadu, klesá s časem.
- ▶ Jednotkou aktivity je **becquerel** (Bq).
- ▶ Při průchodu hmotou má ionizující záření schopnost ionizovat a vytvářet z elektroneutrálních atomů elektricky nabitě částice – tuto schopnost má alfa, beta i gama záření. Při ionizaci prostředí (ozáření člověka) dochází k poškození jeho zdraví. Z tohoto hlediska je při vnitřním ozáření zvláště významné alfa záření, které v důsledku vysoké hustoty ionizace předává svoji energii na krátké dráze – ozařování plicních buněk. Naopak při zevním ozáření je alfa záření takřka bezvýznamné – pár cm vzduchu zabraňuje dalšímu pronikání. Naopak gama záření je velmi pronikavé a může se dostávat na velké vzdálenosti a to i v těžkých materiálech.



Rozdělení dávek obyvatelstva



Legislativa

- ▶ V roce 1997 byl schválen zákon č.18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření („atomový zákon“). Tento zákon řeší a upravuje vztahy přírodní a rovněž umělé radioaktivity. Podle § 6 odst.4 zákona, ve znění pozdějších předpisů, je každý, kdo navrhuje umístění stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi nebo žádá o stavební povolení takové stavby, povinen zajistit stanovení radonového indexu stavebního pozemku a výsledky předložit stavebnímu úřadu. Pokud se taková stavba umístí uje na pozemku s vyšším než nízkým radonovým indexem, musí být stavba preventivně chráněna proti pronikání radonu z geologického podloží. Podmínky pro provedení preventivních opatření stanoví stavební úřad v rozhodnutí o umístění stavby nebo ve stavebním povolení. Stanovení radonového indexu pozemku se nemusí provádět v tom případě, bude-li stavba umístěna v terénu tak, že všechny její obvodové konstrukce budou od podloží odděleny vzduchovou vrstvou, kterou může volně proudit vzduch.

RADONOVÝ INDEX POZEMKU

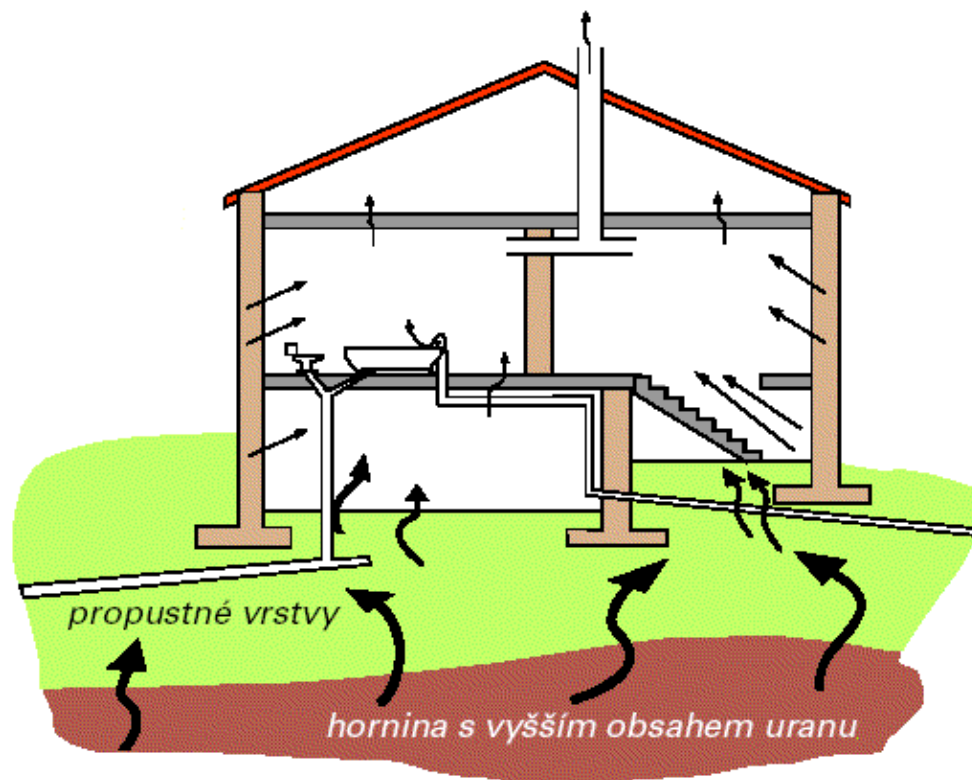
- ▶ (1) Radonový index pozemku je podle § 6 odst. 4 zákona určen k posouzení a usměrnění možného pronikání radonu z geologického podloží do budov. Při jeho stanovení se postupuje tak, že se vychází z těchto měření a ukazatelů:
 - ▶ a) reprezentativního souboru měření objemové aktivity radonu ^{222}Rn v půdním vzduchu,
 - ▶ b) posouzení plynopropustnosti základových půd v kontaktním prostředí budovy s geologickým podložím,
 - ▶ c) posouzení dalších ukazatelů a charakteristik geologického podloží ovlivňujících transport radonu v základových půdách.

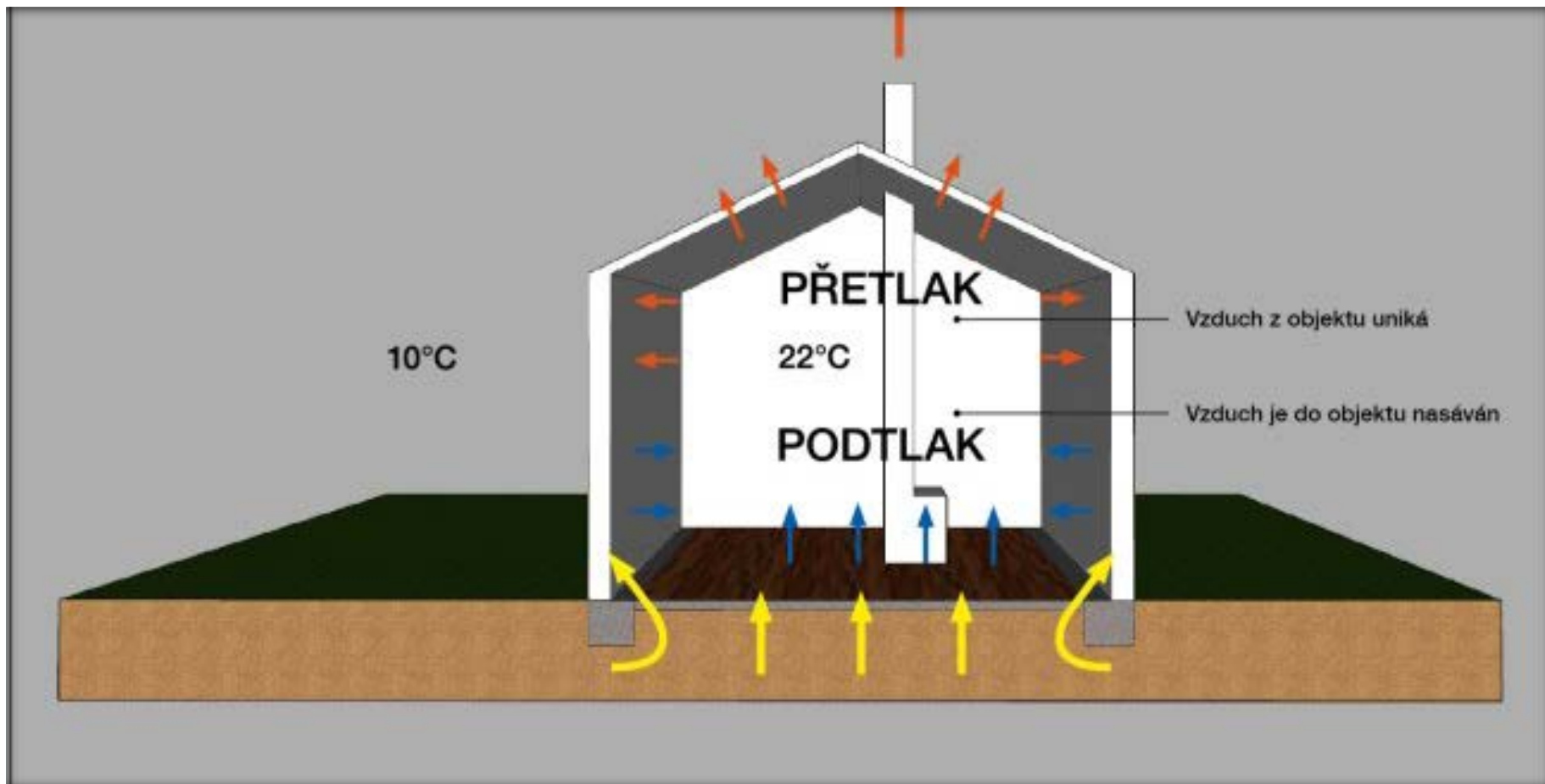
Zdroje radonu

Hlavními zdroji radonu v budovách jsou: geologické podloží domu, stavební materiál, použitá (dodávaná) voda a použitý zemní plyn.

- ▶ **Radon z geologického prostředí**
- ▶ Objemová aktivita radonu v půdě závisí na množství uranu ^{235}U , resp. ^{226}Ra . Dále je koncentrace radonu závislá na propustnosti základových půd. Pro jednoduchost byly zavedeny 3. kategorie radonového indexu pozemku – nízký, střední a vysoký.
- ▶ Radonový index pozemku se stanovuje jako kombinace hodnot objemové aktivity radonu c_A v půdním vzduchu (respektive hodnoty 3. kvartilu) a propustnosti zemin na zkoumané ploše

Pronikání radonu z podloží do objektu

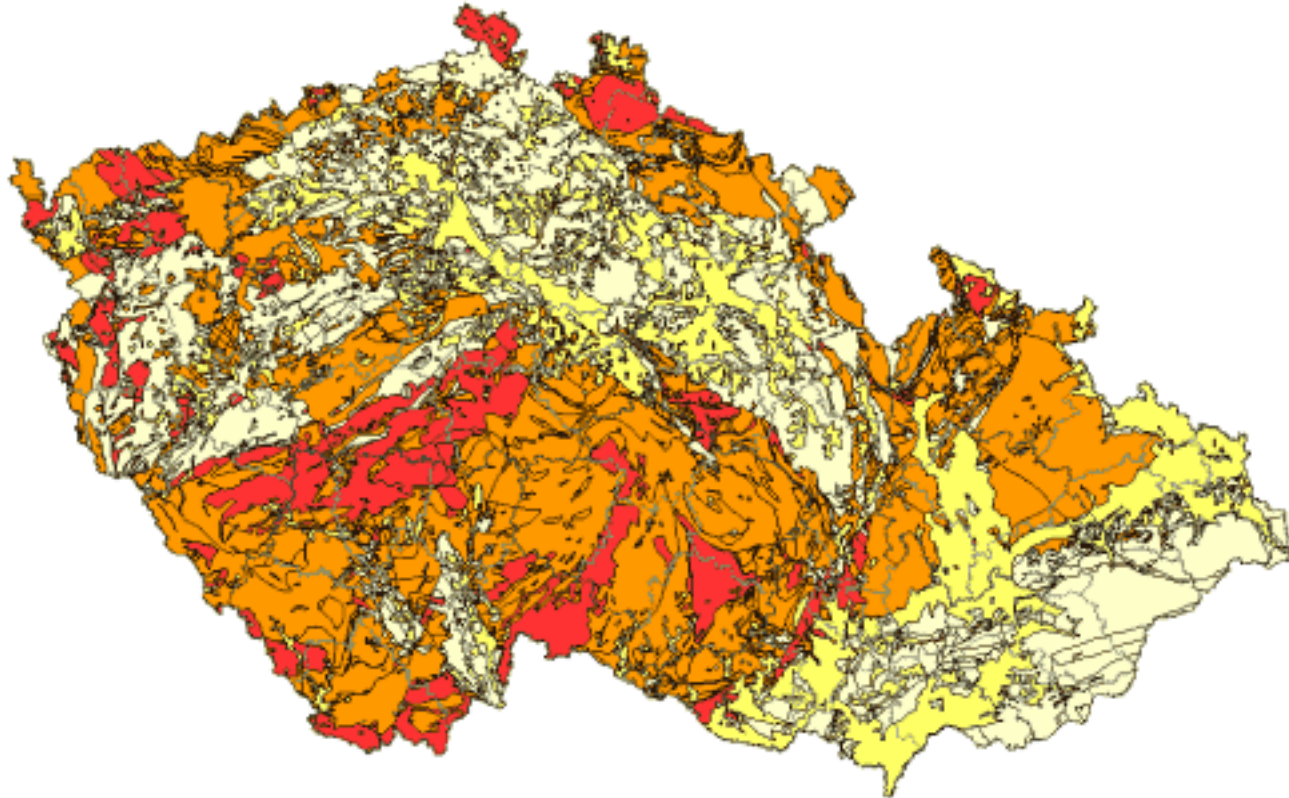




- ▶ **Radon ze stavebního materiálu**
- ▶ Stavební materiály jsou vyrobeny z přírodních surovin – hlína, popílek, kámen atd., které v sobě obsahují přírodní radionuklidy (součást rozpadové řady ^{235}U). Radon se z těchto materiálů uvolňuje do vnitřního ovzduší stavby a část se přemění na gama záření a přispívá k celotělovému ozáření. Proto jsou Vyhláškou č.184/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů stanoveny směrné hodnoty pro stavební materiály.
- ▶ **Radon z vody**
- ▶ Radon, který je obsažený ve vodě, může být vstřebáván inhalací nebo ingescí. Při čerání vody se radon jako plyn uvolňuje do ovzduší a je vdechován do plic (inhalace) nebo je samotná voda požívána do těla člověka (ingesce).

Radonová mapa ČR

(mapa radonového indexu pozemku)



Obrázek z internetu [online]. Dostupné z: <http://www.geology.cz>



Radium girls

U.S.Radium Corp., 1917

Obrázek z *internetu* [online]. [cit. Mar 15, 2009]. Dostupné z: http://i33.photobucket.com/albums/d98/dsteffen_1949/dialpainters3.jpg

Radium girls

- ▶ Radium Girls bylo označení pro skupinu žen, která pracovala ve společnosti U.S.Radium na výrobě ciferníků.
- ▶ Již tehdy se vědělo, že zvýšená radioaktivita je pro lidský organismus nebezpečná, a proto byli výzkumní a techničtí pracovníci chráněni. Žádná ochrana se ale nevztahovala na dělnice, které nanášely již hotovou barvu třeba na ony ciferníky.
- ▶ Mezi hlavní problémy patřila nekróza čelistí, vypadávání zubů, zlomeniny, problémy s krvetvorbou a celá řada dalších problémů dnes již běžně spojovaných s radioaktivitou. Některé z pracovnic společnosti U. S. Radium v sobě měly tolik radioaktivity, že se jejich čelisti zobrazovaly na rentgenologickém filmu i bez použití rentgenového záření.
- ▶ Ženy soudní při roku 1920 vyhrály a vysoudily každá odškodné 10 000 dolarů plus 600 dolarů roční renty. Mnoho dělnic však zemřelo už během soudního procesu.

Měření radonu



- ▶ Příklad přístroje na měření radonu

Měření radonu



- ▶ Geologická sonda

Měření radonu

- ▶ Vzorek zeminy z geologické sondy



Měření radonu

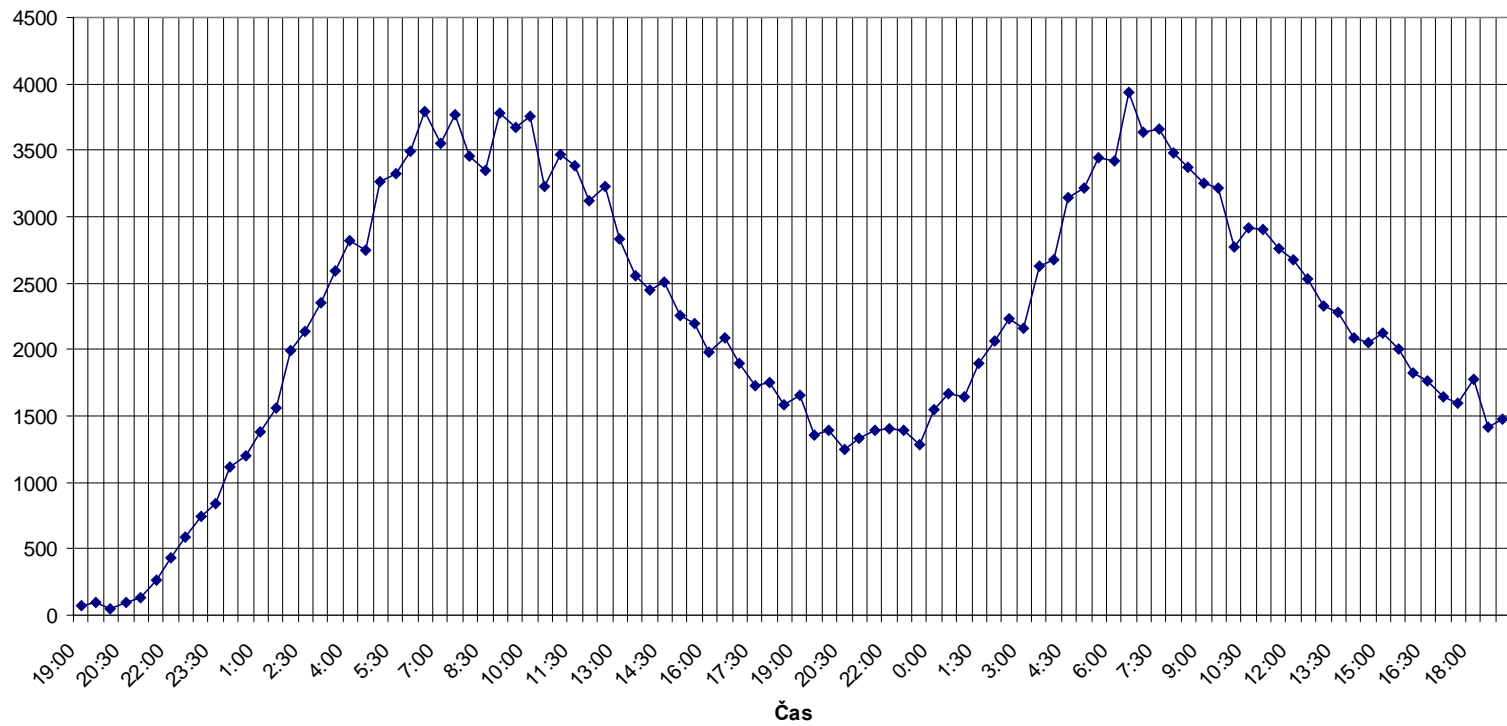
- ▶ Odběrové zařízení



Geologický profil

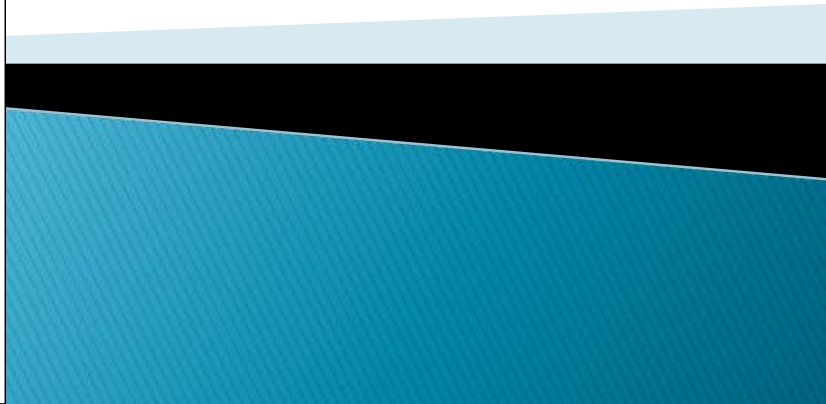
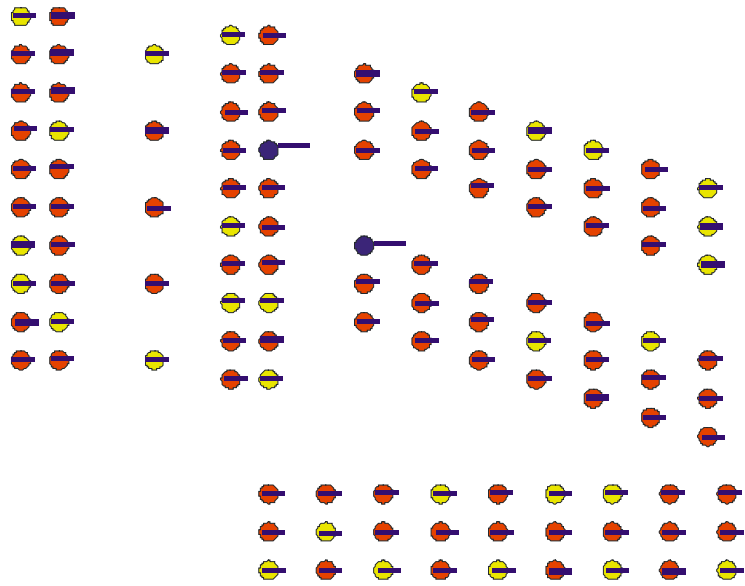


Kontinuální monitorování OAR (Bq/m³)
(pokoj, 2.NP - 18.6.2005)



Kontrola těsnosti spár





Navrhování protiradonových izolací

- ▶ Na protiradonovou izolaci mohou být podle ČSN 73 0601 použity jen materiály, které splňují následující podmínky:
- ▶ mají stanoven koeficient difúze radonu (D) a to včetně spoje pásů
- ▶ tažnost je taková, aby pro daný typ založení a dané konstrukční provedení spodní stavby přenesly mezní deformace podle ČSN 73 1001
- ▶ trvanlivost odpovídá předpokládané životnosti stavby
- ▶ splňují všechny ostatní požadavky kladené na hydroizolace (ČSN 73 0600) a vyplývající z konkrétních podmínek na staveništi (např. odolnost proti agresivním vodám atd.).
- ▶ Minimální tloušťka izolačního materiálu se stanoví tak, aby skutečná rychlost plošné exhalace E z povrchu izolace byla menší než exhalace maximálně přípustná Emez .
- ▶ $E \leq E_{mez}$

Rychlost plošné mezní exhalace

- ▶ $E_{mez} = (C_{dif} \cdot V_k \cdot n) / (A_p + A_s)$ (Bq/m²h)
- ▶ V_k objem interiéru kontaktního podlaží (m³)
- ▶ n intenzita výměny vzduchu (1/h)
- ▶ A_p ...půdorysná plocha v kontaktu s podložím (m²)
- ▶ A_s ...plocha suter. stěn v kontaktu s podložím (m²)
- ▶ C_{dif}podíl difúze na směrné hodnotě koncentrace radonu tj. 10 % limitní koncentrace radonu podle Vyhl.č.184/1997 Sb. (tj. 25 Bq/m³ pro novostavby a 50 Bq/m³ pro stávající stavby).

Rychlost plošné exhalace

$$E = (\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_s) / (\sinh d/l) \quad (\text{Bq/m}^2\text{h})$$

- ▶ C_skoncentrace radonu v podloží (Bq/m³)
- ▶ λ ...rozpadová konstanta radonu (0,00756 h⁻¹ = 2,1.10⁻⁶ s⁻¹)
- ▶ d ...tloušťka izolace (m)
- ▶ l ...difúzní délka radonu v izolaci (m) $l=(D/\lambda)^{1/2}$
- ▶ D ...součinitel difúze radonu v izolaci (m²/h)
- ▶ α_1 ...bezrozměrný součinitel, jehož hodnoty závisí na propustnosti podloží ($\alpha_1=2,1$ pro nízkou propustnost, $\alpha_1=3$ pro střední propustnost, $\alpha_1=7$ pro vysokou propustnost)

Výpočet min.tloušť ky izolace

- ▶ $d \geq l \cdot \operatorname{arcsinh} \left(\frac{\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_s}{E_{mez}} \right) \quad (\text{m})$
- ▶ kde
- ▶ $\operatorname{arcsinh} \left(\frac{\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_s}{E_{mez}} \right) = \operatorname{arcsinh} x = \ln (x + (x^2 + 1)^{1/2})$

Praktický příklad

- ▶ Vstupní data – nepodsklepený RD, provedeno měření radonu v podloží ($C_s = 50\,000\text{ Bq/m}^3$, střední propustnost podloží; zvolená výpočtová místnost má rozměry 5 x 4m, výška stropu je 2,5m, výměna vzduchu $k = 0,3\text{ h}^{-1}$)
- ▶ Navržená izolace – Fatrafol F 803; součinitel difúze radonu v izolaci $D = 7 \cdot 10^{-12}\text{ m}^2/\text{s}$.
- ▶ Výpočet minimální tloušťky izolace: (pozor na jednotky!!!)
- ▶ $E_{mez} = (C_{dif} \cdot V_k \cdot n) / (A_p + A_s) = (25 \cdot 50 \cdot 0,3) / 20 = 18,75\text{ Bq/m}^2\text{h}$

- ▶ $l = (D / \lambda)^{1/2} = (7 \cdot 10^{-12} / 2,1 \cdot 10^{-6})^{1/2} = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- ▶ $d \geq l \cdot \operatorname{arcsinh} ((\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_s) / E_{\text{mez}})$
- ▶ $d \geq 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot \operatorname{arcsinh}(3 \cdot 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00756 \cdot 50000) / 18,75$
- ▶ $d \geq 1,83 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(0,1106784 + (0,1106784^2 + 1)^{1/2})$
- ▶ $d \geq 0,202 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- ▶ Minimální tloušťka izolace musí být 0,2 mm.

*Prezentaci vytvořil **RNDr. Karel Uvíra**,
odborník na problematiku výskytu radonu, majitel firmy SEZIT Plus s.r.o.
Prezentace je určena pro podporu výuky pozemního stavitelství na středních odborných školách stavebních
oboru 36-47-M/01 Stavebnictví. Je v souladu s rámcovými vzdělávacími programy.*



*Vytvořeno v rámci projektu „Stavebnictví 21“, reg. číslo CZ.107/1.124/01.0110,
za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky.*



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ