

STU Slovenská technická univerzita v Bratislave
FEI Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva


 **ÚJFI**
ÚSTAV JADROVÉHO A FYZIKÁLNEHO INŽINIERSTVA

HODNOTENIE BEZPEČNOSTI HLBINNÉHO ÚLOŽISKA PRE VYHORETÉ JADROVÉ PALIVO

Dana Barátová
Vladimír Nečas

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Obsah

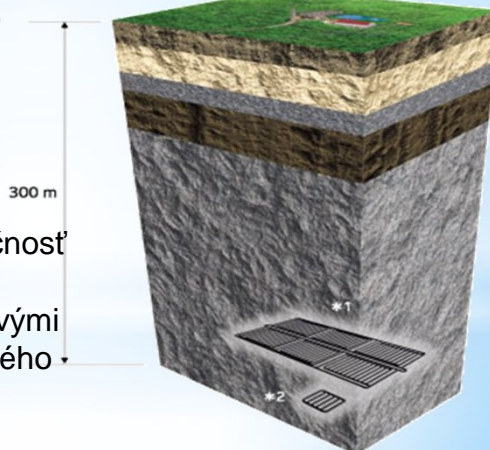


- Úvod
- Procesy ovplyvňujúce migráciu rádionuklidov úložným systémom
- Hodnotenie dlhodobej bezpečnosti hlbinného úložiska – model multi-báriérového konceptu ukladania
- Analýza výsledkov
- Zhodnotenie

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Hlbinné ukladania VJP a VAO

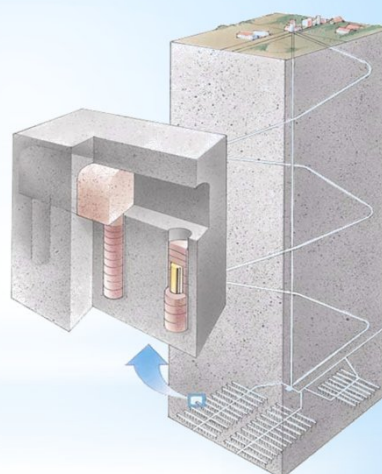
- * Hlbinné (geologické) úložisko – zariadenie v stabilnej geologickej formácii určené na ukladanie rádioaktívnych odpadov v pevnej forme (vrátane vyhoretého jadrového paliva, ak bolo vyhlásené za RAO)
- * Hĺbka ukladania - zvyčajne niekoľko sto metrov pod zemským povrchom
- * Výrazná črta hlbinného ukladania - pasívna bezpečnosť po jeho uzavretí je z veľkej miery zabezpečená priaznivými charakteristikami hostiteľského prostredia



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Multibariérový koncept hlbinného ukladania

- Inžinierske bariéry:
 - Forma odpadu
 - Úložný kontajner
 - Tesniaci a výplňový materiál
- Geologická bariéra



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Návrh úložného kontajnera vo Švédsku



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Aktuálny stav vývoja hlbinného úložiska na SR

- V roku 2010 sa stala implementátorom hlbinného ukladania (HÚ) spoločnosť JAVYS, a.s., ktorá obnovila program vývoja HÚ na Slovensku.
- V rámci prvej etapy tohto programu - proces zhodnotenia doterajších aktivít, výskumných a vývojových prác.
- V rámci programu vývoja hlbinného úložiska v Slovenskej republike (1996 až 2001) bolo určených päť perspektívnych lokalít v dvoch hostiteľských horninách.



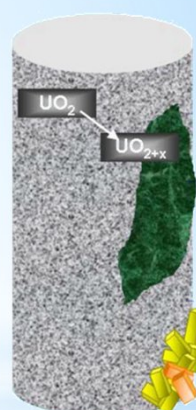
Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Procesy ovplyvňujúce migráciu rádionuklidov úložným systémom

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Uvoľňovanie rádionuklidov z vyhoretého jadrového paliva

- Krátkodobé - rapídne uvoľňovanie spojené s rádionuklidmi umiestnenými v zónach palivových tyčí, ktoré pri kontakte s vodou nemajú žiadne retenčné schopnosti.
- Dlhodobé uvoľňovanie rádionuklidov, ktoré sú umiestnené v rámci UO_2 matrice a pokrytia - uvoľňované s jej postupným rozpúšťaním.



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Mechanizmy transportu rádionuklidov – difúzia

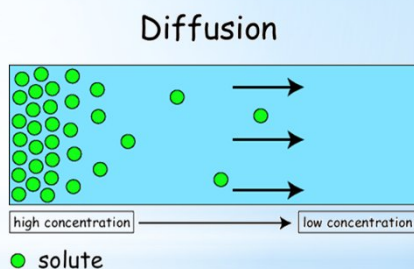
*Prenos látky vďaka koncentračnému gradientu (makroskopický pohľad)

2. Fickov zákon (nestacionárny stav)

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2}$$

D - difúzny koeficient

dC/dx - koncentračný gradient



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Mechanizmy transportu rádionuklidov - advekcia

- ✓ Pohyb v jednotlivých zlomoch horninového prostredia, kde je rýchlosť prúdenia podzemnej vody vyššia, môže byť popísaný advekčno-disperzným mechanizmom
- ✓ Darcyho empirický zákon -vyjadruje lineárnu závislosť medzi Darcyho rýchlosťou prúdenia vody a tlakovým (hydraulickým) gradientom

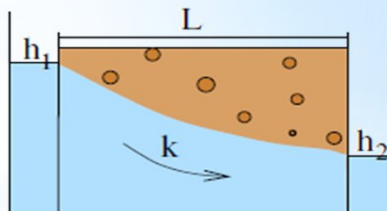
Darcyho zákon:

$$q = -k \cdot \frac{dh}{dx}$$

q - Darcyho (filtračná) rýchlosť prúdenia vody

k - koeficient filtrácie (hydraulická vodivosť)

dh/dx - hydraulický gradient (tlakový gradient)

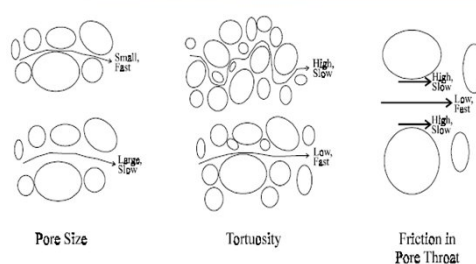


Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Mechanizmy transportu rádionuklidov - disperzia

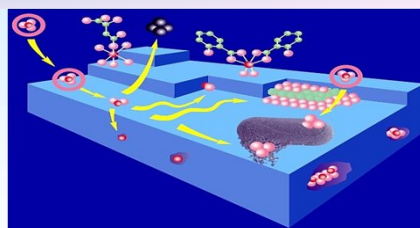
- ✓ Hydrodynamická disperzia - kombináci efektu mechanickej disperzie a molekulárnej difúzie
- ✓ Mechanická disperzia – dominantný proces pri normálnych rýchlostiach prúdenia podzemnej vody
- ✓ Molekulárna difúzia – dominantný proces pri extrémne nízkych rýchlostiach prúdenia podzemnej vody
- ✓ Pri mechanickej - pozdĺžna a priečna zložka

- ✓ Mechanická disperzia - mikroskopický pohľad:
 - rozdielna veľkosť pórov
 - rozdielne trenie
 - tortuozita



Procesy ovplyvňujúce transport rádionuklidov– sorpcia

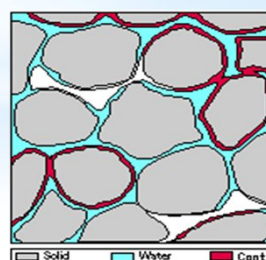
- ✓ Sorpcia - zahŕňa všetky heterogénne reakcie medzi rozpustenými kontaminantmi a pevnou maticou horninového prostredia, či výplňovým materiálom



- ✓ Sorpčná izoterma - vzťah medzi koncentráciou kontaminantov nasorbovaných na pevnú fázu a koncentráciou kontaminantov rozpustených v kvapalnej fáze (lineárna izoterma – najjednoduchšie vyjadrenie)

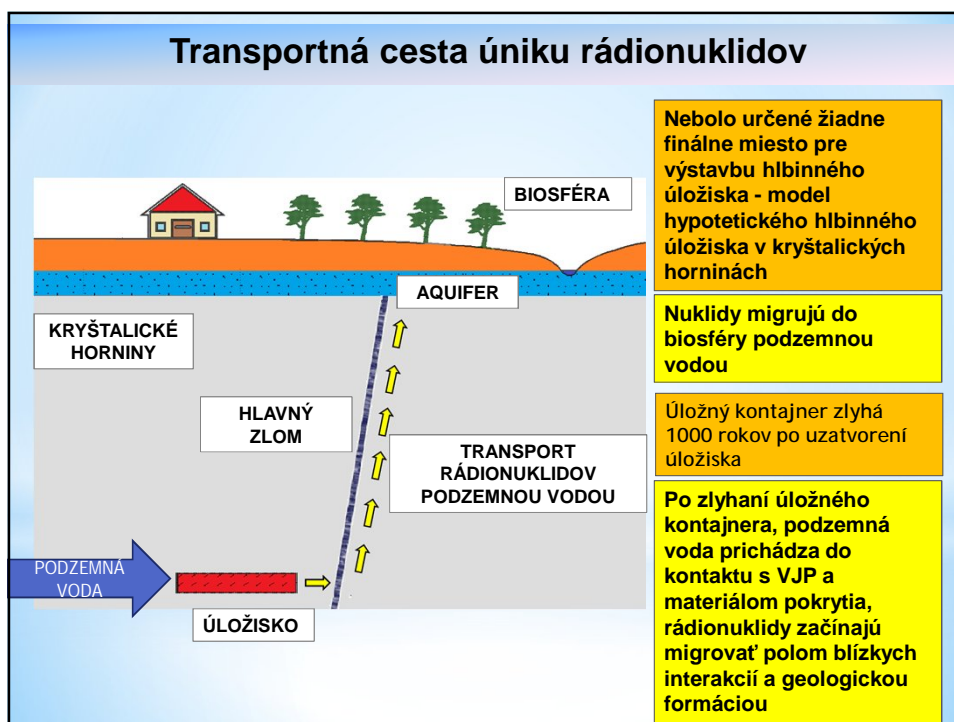
- ✓ Distribučný koeficient

$$K_d = M_{\text{pevná}} / M_{\text{kvapalná}} \text{ (m}^3\text{/kg)}$$



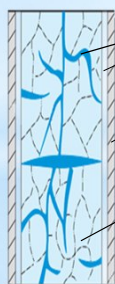
Model multi-bariérového systému úložiska

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika



Zdrojový člen

- § VJP – heterogénna forma (konceptne je VJP rozdelené na materiál pokrytia a UO_2 maticu)
- § Časť z inventára rádionuklidov, ktorá sa uvoľní rapídne rýchlo (IRF – Instant Release Fraction)
- § Palivo
 - Priemerné obohatenie: 4.87 % U-235
 - Typ reaktora: VVER 440 (PWR typ)
 - Vyhoření: 60 000 MWd/tU

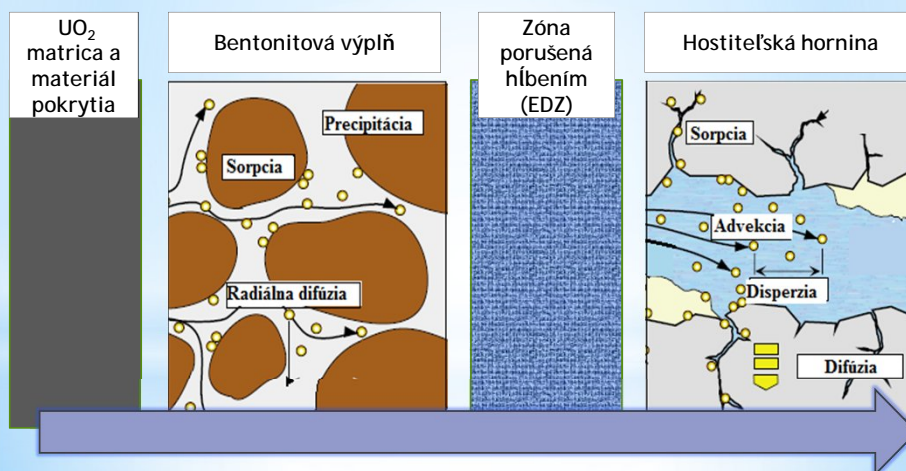


IRF
 ^{14}C , ^{36}Cl , ^{135}Cs , ^{129}I , ^{107}Pd , ^{79}Se , ^{126}Sn , ^{99}Tc

Konstruktívny materiál
 ^{14}C organický, ^{91}Nb , ^{92}Nb , $^{93\text{m}}\text{Nb}$, ^{94}Nb , ^{99}Tc , ^{93}Zr

UO_2 matrica
 ^{240}Pu , ^{236}U , ^{232}Th ,
 ^{241}Pu , ^{237}Np , ^{233}U , ^{229}Th ,
 ^{242}Pu , ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb ,
 ^{243}Am , ^{239}Pu , ^{235}U , ^{231}Pa , ^{227}Ac
 ^{14}C anorganický, ^{36}Cl , ^{79}Se , ^{82}Se , ^{93}Zr , $^{93\text{m}}\text{Nb}$, ^{91}Nb , ^{94}Nb , ^{99}Tc ,
 ^{107}Pd , ^{129}I , ^{135}Cs , ^{147}Sm , ^{148}Sm , ^{149}Sm , ^{151}Sm , ^{126}Sn

Koncepčný model migrácie rádionuklidov blízkom poľom a geologickým podložím



Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Výsledky pre referenčný scenár

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Simulačný software GoldSim

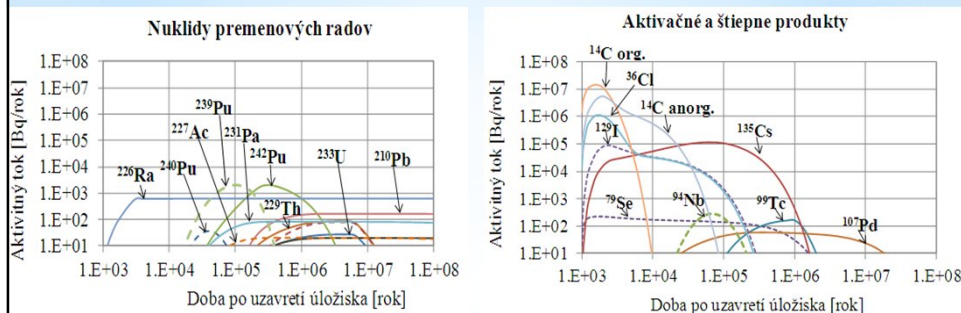
- RT modul – umožňuje dynamicky modelovať hmotnostný tok v rámci systému inžinierskych a prírodných bariér
- Základom je zákon zachovania hmoty, pričom je možné simulovať aj rádioaktívny rozpad a vznik jednotlivých rádionuklidov
- Základná rovnica pre bunku i:

$$m'_{is} = -m_{is}\lambda_s + \sum_{p=1}^{NP_s} m_{ip} \lambda_p f_{ps} R_{sp} \frac{A_s}{A_p} - \sum_{c=1}^{NF_i} f_{cs} + S_{is}$$

(Zdroj: GOLDSIM Technology Group LLC. GoldSim Contaminant Transport Module, User's Guide. Washington, USA, 2010)

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Aktivité toky nuklidov z blízkeho poľa (pre jeden úložný kontajner)

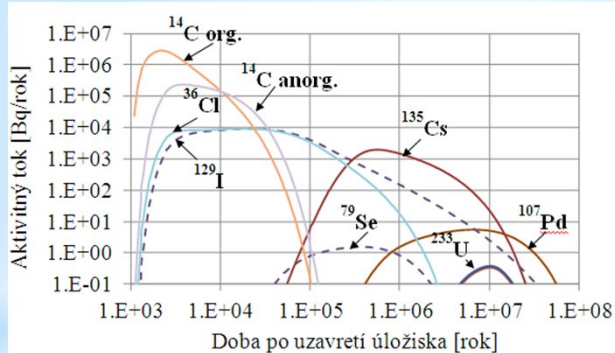


^{227}Ac , ^{210}Pb , ^{226}Ra sú rádionuklidy s významným inventárom a nízkym limitom rozpustnosti - pseudo ustálený stav aktivných tokov počas dlhého časového obdobia

Z dôvodu slabých retenčných vlastností, aktivačné a niektoré štiepne produkty (napr. ^{129}I , ^{79}Se) relatívne rýchlo migrujú cez bentonitovú výplň, čo je možné vidieť z ich časových priebehov aktivných tokov

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Aktivité toky nuklidov z geosféry do aquifera (pre jeden úložný kontajner)



Rádionuklidy pramenových radov sú pomerne výrazne sorbované na hostiteľskej hornine podložia

Aktivačné a niektoré štiepne produkty (^{135}Cs , ^{129}I , ^{79}Se) predstavujú najväčší príspevok k celkovému aktivnému toku z hostiteľskej horniny do aquifera

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Zhodnotenie

- Na Slovensku nebolo zatiaľ určené finálne miesto pre výstavbu hlbinného úložiska - bol vytvorený model blízkeho poľa pre hypotetickú lokalitu:
 - Nuklidy premenových radov sú výrazne sorbované na bentonitovej výplni a hostiteľskej hornine
 - Aktivačné a niektoré štiepne produkty (^{135}Cs , ^{129}I , ^{79}Se) predstavujú najväčší príspevok k celkovému aktivnému toku z hostiteľskej horniny do aquifera
 - Potrebne hodnotiť jednotlivé charakteristiky, udalosti a procesy na základe výskumných a vývojových prác, ktoré budú realizované vo vybranej lokalite

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika

Ďakujem Vám za pozornosť!

dana_baratova@stuba.sk

Odborná konferencia sekcií WIN a RE SNUS, 27. apríl 2017, Častá - Papiernička, Slovenská republika