Vnitřní okrajová podmínka -   
- bilance radionuklidů v kontejneru

d: 11. 3.2020 vnitrni\_okrajova\_podminka\_jl\_v0011.docx ad: 11.3.2020 12:15 © jl

Jiří Landa

Obsah

[Zkratky a pojmy 2](#_Toc34821291)

[Seznam parametrů 3](#_Toc34821292)

[1. Úvod 5](#_Toc34821293)

[2. Vnitřní okrajová podmínka – koncentrace v kontejneru 6](#_Toc34821294)

[2.1. Varianta výpočtu koncentrace radionuklidu podle Aktualizace referenčního projektu (ARP) [1] 8](#_Toc34821295)

[2.2. Varianta výpočtu rozpouštěním uranové matrice 9](#_Toc34821296)

[3. Vnější okrajová podmínka – koncentrace v granitu 12](#_Toc34821297)

[4. Potřebná vstupní data 13](#_Toc34821298)

[4.1. Pomocné výpočetní vztahy 13](#_Toc34821299)

[4.2. Vstupní Data 14](#_Toc34821300)

[5. Závěr 15](#_Toc34821301)

[Citovaná literatura 16](#_Toc34821302)

# Zkratky a pojmy

Tab. 1: seznam zkratek a pojmů

|  |  |
| --- | --- |
| **zkratka** | **význam** |
| ARP | aktualizace referenčního projektu |
| EDU | jaderné elektrárna Dukovany |
| ETE | jaderná elektrárna Temelín |
| IRF | okamžitě uvolnitelná frakce (Instant Release Fraction) |
| IUGS | Mezinárodní unie geologických věd (*International Union of Geological Sciences*) |
| IUPAC | Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) |
| PS | palivový soubor |
| RAO | radioaktivní odpad |
| superkontejner | úplný obalový soubor včetně bentonitové tlumící vrstvy |
| UOS | úplný obalový soubor – tzn. kontejner naplněný odpadem |
| VAO | vysoce radioaktivní odpad |

# Seznam parametrů

Tab. 2: přehled parametrů, veličin a jednotek použitých ve výpočetních vztazích

| **značka** | **fyz. rozměr** | **běžné jednotky** | **popis** |
| --- | --- | --- | --- |
|  | M·T-1 | kg·s-1 | odtok 238U j z kontejneru v čase t |
|  | M·T-1 | kg·s-1 | odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t |
| A PS,j | T-1 | Bq | aktivita radionuklidu j v palivovém souboru |
| cj(t) | M·L-3 | kg·m-3 | koncentrace radionuklidu j v kontejneru v čase t |
| i |  |  | index chemického prvku |
| Ii | - | 1 | okamžitě uvolnitelná frakce chem. prvku i |
| j |  |  | index radionuklidu, odpovídá chemickému prvku i |
| m | M | kg | hmotnost matrice odpadu v kontejneru |
| m(0) | M | kg | hmotnost matrice odpadu v kontejneru v čase 0 |
| m(t) | M | kg | hmotnost matrice odpadu v kontejneru v čase t |
| m238U(0) | M | kg | celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru |
| Mi | M·N-1 | g·mol-1 | (střední) molární atomová hmotnost chem. prvku i |
| Mj | M·N-1 | g·mol-1 | molární atomová hmotnost radionuklidu j |
| mj(0) | M | kg | počáteční hmotnost radionuklidu j (v kontejneru) v čase t |
| mj(t) | M | kg | celková hmotnost radionuklidu j  čase t |
| mm,238U(t) | M | kg | celková hmotnost 238U tvořícího matrici v kontejneru v čase t |
| mmj(0) | M | kg | hmotnost radionuklidu j v matrici odpadu v kontejneru v čase 0 |
| mmj(t) | M | kg | hmotnost radionuklidu j v matrici odpadu v kontejneru v čase t |
| mo,238U(t) | M | kg | celková hmotnost 238U, který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t |
| moj(0) | M | kg | celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase 0 |
| moj(t) | M | kg | celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t |
| mr,238U(t) | M | kg | celková hmotnost rozpuštěného 238U v kontejneru v čase t |
| mr,j(0) | M | kg | hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase 0 |
| mr,j(t) | M | kg | hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase t |
| Na | N-1 | mol-1 | Avogadrova konstanta |
| ncPS | - | 1 | počet palivových souborů v kontejneru |
| q | T-1 | s-1 | rychlost degradace matrice odpadu |
| rM,i | M·L-3 | kg·m-3 | měrná rozpustnost chem. prvku i |
| rMb,U | M·L-3 | kg·m-3 | měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu) |
| rN,i | N·L-3 | mol·m-3 | molární rozpustnost chem. prvku i |
| t | T | s, a | čas |
| t½,j | T | s | poločas přeměny radionuklidu j |
| Vf | L3 | m3 | volný objem kontejneru |
| xm(t) | - | 1 | hmotnostní zlomek matrice odpadu v čase t oproti původnímu množství |
| λj | T-1 | s-1 | přeměnová konstanta radionuklidu j |

# Úvod

Bentonitová bariéra je poslední inženýrskou bariérou hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Tok radionuklidů z této vrstvy do okolního prostředí bývá označován jako zdrojová člen. Přes bentonitovou vrstvu je předpokládán pouze difuzní tok. Jeho velikost závisí jinak na koncentraci radionuklidů v kontejneru a díle na koncentraci v okolní hornině.

Koncentrace v okolní hornině, tedy vnější okrajová podmínka, která bude nulová, nebo velmi nízká. Ale bude záviset na geometrickém uspořádání úložného prostoru, kdy koncentrace radionuklidů v hornině může být ovlivněna tokem radionuklidů z kontejneru který je umístěn proti proudění podzemní vody.

Koncentrace v kontejneru, tedy Vnitřní okrajová podmínka závisí na celkové bilanci radionuklidu v kontejneru. Jde jednak o uvolňování radionuklidu z matrice odpadu a jednak o jeho odtok z kontejneru ven do bentonitové vrstvy.

V této práci jsou popsány dvě varianty vnitřní okrajové podmínky, první je podle aktualizace referenčního projektu, kdy je rychlost degradace matrice kompaktní a druhá, kdy rychlost degradace matrice závisí na rychlosti odtoku její hlavní složky, tedy 238U.

Dále jsou zde zmíněny možnosti variant vnější okrajové podmínky a v poslední kapitole jsou potřebná vstupní data pro výpočet vnitřní okrajové podmínky.

# Vnitřní okrajová podmínka – koncentrace v kontejneru

Vnitřní okrajová podmínka je koncentrace radionuklidu na rozhraní kontejner – bentonit. Předpokládáme, že koncentrace ve vodní fázi uvnitř kontejneru (tzn. ve volném objemu kontejneru) je v každém časovém okamžiku rovnoměrně rozložená. Koncentraci radionuklidu j ve volném prostoru kontejneru definuje rovnice (1). Je to podíl hmotnosti rozpuštěného radionuklidu j volnému objemu kontejneru, který je konstantní a úplně nasycený vodou.

Rovnice (1): koncentrace radionuklidu v kontejneru – vnitřní okrajová podmínka:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

cj(t) koncentrace radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M·L-3], [kg·m-3]

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mr,j(t) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M], [kg]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

Pro výpočet koncentrace radionuklidu tedy potřebujeme spočítat jeho rozpuštěnou hmotnost. Pro výpočet vyjdeme z celkové bilance radionuklidu. Celkové počáteční množství radionuklidu v kontejneru mj(0) je zadáno pomocí inventáře vyhořelého palivového souboru (PS) a počtu palivových souborů v kontejneru, viz rovnice (23). Celkové množství radionuklidu vlivem radioaktivní přeměny klesá, viz rovnice (2), pro první přiblížení ho však budeme považovat za konstantní podle rovnice (3).

Rovnice (2) – celková hmotnost radionuklidu j v čase:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mj(0) počáteční hmotnost radionuklidu j v v čase t, [M], [kg]

mj(t) celková hmotnost radionuklidu j v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

λj přeměnová konstanta radionuklidu j, [T-1], [s-1]

Rovnice (3): pro první přiblížení můžeme považovat celkovou hmotnost radionuklidu za konstantní

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mj(0) počáteční hmotnost radionuklidu j v čase t, [M], [kg]

mj(t) celková hmotnost radionuklidu j v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

Rovnice (4): celková bilance radionuklidu j v čase t:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mj(t) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M], [kg]

mmj(t) hmotnost radionuklidu j v matrici kontejneru v čase t, [M], [kg]

moj(t) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

mr,j(t) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

Hmotnost radionuklidu který odtekl z kontejneru spočítáme jako časový integrál odtoku radionuklidu z kontejneru, přičemž předpokládáme že počáteční stav je mo,j=0 kg, viz rovnice (5).

Rovnice (5): vzorec pro výpočet hmotnosti radionuklidu odteklého z kontejneru:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

moj(t) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

Dále je nutné poznamenat, že vyhořelé jaderné palivo je tvořeno zejména oxidy uranu , hlavně 238UO2, který je považován za matrici odpadu.

## Varianta výpočtu koncentrace radionuklidu podle Aktualizace referenčního projektu (ARP) [1]

V ARP je zde uvažováno, že určitý podíl radionuklidu (chemického prvku) je rozpuštěn ve vodě vyplňující volný objem kontejneru., toto je označováno jako okamžitě uvolnitelná frakce (anglicky instatnt release fraction -IRF). Počáteční rozložení hmotnosti radionuklidu je tedy podle podílu IIRF částečně v roztoku a z větší části v matrici odpadu. Odteklé množství radionuklidu je nulové. Počáteční stav rozložení hmotnosti, včetně výpočetních vztahů je uveden v Tab. 3.

Tab. 3: počáteční rozložení hmotnosti radionuklidu podle ARP

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **hmotnost** | **vztah** | **rovnice** |
| celková hmotnost radionuklidu j |  |  |
| hmotnost radionuklidu v matrici odpadu |  |  |
| hmotnost radionuklidu ve vodní fázi kontejneru (roztoku) |  |  |
| hmotnost radionuklidu odteklého z kontejneru |  |  |

kde:

i index chemického prvku i

Ii okamžitě uvolnitelná frakce chem. prvku i, [-][1]

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mmj(0) hmotnost radionuklidu j v matrici kontejneru v čase 0, [M], [kg]

moj(0) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase 0, [M], [kg]

mr,j(0) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

t čas [T], [s]

V referenčním projektu byla uvažována konstantní rychlost degradace matrice odpadu, viz rovnice (9).

Rovnice (9): časový průběh degradace matrice odpadu

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

q rychlost degradace matrice, [T-1][s-1]

m hmotnost matrice odpadu v kontejneru, [M], [kg]

m(0) hmotnost matrice odpadu v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

m(t) hmotnost matrice odpadu v kontejneru v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

Rovnice (10): hmotnost radionuklidu j v matrici odpadu v čase t,

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

Ii okamžitě uvolnitelná frakce prvku i, [-][%]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mmj(t) hmotnost radionuklidu j v matrici kontejneru v čase t, [M], [kg]

q rychlost degradace matrice, [T-1][s-1]

t čas [T], [s]

Rovnice (11): hmotnost rozpuštěného radionuklidu v čase t, dosazení rovnic (5) a (10) do rovnice (4):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

I okamžitě uvolnitelná frakce, [-][%]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

moj(t) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

q rychlost degradace matrice, [T-1][s-1]

t čas [T], [s]

Rovnice (12): koncentrace radionuklidu j v kontejneru v čase t („vnitřní okrajová podmínka“), dosazení rovnice (11) do rovnice (1):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

cj(t) koncentrace radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M·L-3], [kg·m-3]

I okamžitě uvolnitelná frakce, [-][%]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

moj(t) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

q rychlost degradace matrice, [T-1][s-1]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

## Varianta výpočtu rozpouštěním uranové matrice

Je předpoklad, že štěpné produkty a aktinoidy jsou vázány v peletách v uranové matrici. Ta je ve vyhořelém palivu tvořena zhruba 98% 238U. Dále můžeme předpokládat, že k její degradaci dochází vlivem rozpouštění U a také vlivem radioaktivní přeměny. Přeměnová konstanta 238U je 1,5e-10 a-1, v prvním přiblížení jí též můžeme zanedbat.

Dále budeme předpokládat, že roztok 238U je nasycený, tedy odpovídá maximální rozpustnosti, dokud se veškerá matrice nerozpustí. Koncentrace 238U je tedy nasycená, dokud je ho dostatek. Degradace matrice je způsobená jeho rozpuštěním, to v důsledku znamená, že kolik odteče uranu, o tolik degraduje matrice. Údaje o rozpustnosti v kontejneru jsou považovány stejné hodnoty jako v bentonitu.

Rovnice (13): množství rozpuštěného 238U je konstantní, vypočtené z rozpustnosti

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

mr,238U(t) celková hmotnost rozpuštěného 238U v kontejneru v čase t, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

Rovnice (14): vzorec pro výpočet hmotnosti 238U odteklého z kontejneru podle rovnice (5):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

mo,238U(t) celková hmotnost 238U, který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

t čas [T], [s]

Rovnice(15): časový průběh množství 238U tvořícího matrici, úprava rovnice (2)

|  |  |
| --- | --- |
| dosazení rovnic (13) a (14): |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

m238U(0) celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru, [M], [kg]

mm,238U(t) celková hmotnost 238U tvořícího matrici v kontejneru v čase t, [M], [kg]

mo,238U(t) celková hmotnost 238U, který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase t, [M], [kg]

mr,238U(t) celková hmotnost rozpuštěného 238U v kontejneru v čase t, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

Rovnice (16): hmotnostní zlomek matrice v čase t, platí i pro čas 0:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

m238U(0) celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

xm(t) hmotnostní zlomek matrice odpadu v čase t oproti původnímu množství [-],[1]

Rovnice (17): hmotnost radionuklidu j v matrici, v čase t, platí i pro čas 0.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

m238U(0) celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru, [M], [kg]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mmj(t) hmotnost radionuklidu j v matrici kontejneru v čase t, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

xm(t) hmotnostní zlomek matrice odpadu v čase t oproti původnímu množství [-],[1]

Rovnice (18): celkové rozpuštěné množství radionuklidu j v čase t, platí i pro čas 0:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

m238U(0) celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru, [M], [kg]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mr,j(t) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

Rovnice (19): vnitřní okrajová podmínka – koncentrace radionuklidu j v čase t, platí i pro čas 0:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

odtok 238U j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

odtok radionuklidu j z kontejneru v čase t, [M·T-1], [kg·s-1]

m238U(0) celková (počáteční) hmotnost 238U kontejneru, [M], [kg]

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mr,j(t) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase t, [M], [kg]

rMb,U měrná rozpustnost uranu v kontejneru (v bentonitu), [M·L-3], [kg·m-3]

t čas [T], [s]

Vf volný objem kontejneru [L3], [m3]

Tab. 4: počáteční rozložení hmotnosti radionuklidu podle rozpouštění uranové matrice

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **hmotnost** | **vztah** | **rovnice** |
| celková hmotnost radionuklidu j |  |  |
| hmotnost radionuklidu v matrici odpadu |  |  |
| hmotnost radionuklidu ve vodní fázi kontejneru (roztoku) |  |  |
| hmotnost radionuklidu odteklého z kontejneru |  |  |

kde:

i index chemického prvku i

Ii okamžitě uvolnitelná frakce chem. prvku i, [-][1]

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

mj(0) celková hmotnost radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

mmj(0) hmotnost radionuklidu j v matrici kontejneru v čase 0, [M], [kg]

moj(0) celková hmotnost radionuklidu j který odtekl z kontejneru do bentonitu, v čase 0, [M], [kg]

mr,j(0) hmotnost rozpuštěného radionuklidu j v kontejneru v čase 0, [M], [kg]

t čas [T], [s]

xm(0) hmotnostní zlomek matrice odpadu v čase 0 [-],[1]

# Vnější okrajová podmínka – koncentrace v granitu

Z pohledu bentonitové vrstvy je vnější okrajová podmínka koncentrace radionuklidu j v granitu na rozhraní s bentonitem. V prvním případě, kdy je rychlost degradace matrice konstantní, nebude mít koncentrace v granitu pravděpodobně velký vliv. Ve druhém případě je možné vyšší ovlivnění koncentrací zejména izotopů U v granitu, bylo by tedy vhodné zkusit modelovou úlohu, kdy bude druhý superkontejner umístěn po směru proudění od prvního. Vzdálenost mezi kontejnery viz následující kapitola.

# Potřebná vstupní data

V této kapitole jsou shromážděny potřebné vstupní ůdaje. Některé z nich bylo nutné přepočítat, proto jsou zde i potřebné převodní vztahy.

## Pomocné výpočetní vztahy

Rovnice (23): počáteční hmotnosti radionuklidu j v kontejneru, vypočtená z aktivity PS

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

A PS,j aktivita radionuklidu j v palivovém souboru, [T-1], [Bq]

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

Mj molární atomová hmotnost radionuklidu j, [M·N-1] [g·mol-1]

mj(0) počáteční hmotnost radionuklidu j (v kontejneru) v čase t, [M], [kg]

Na Avogadrova konstanta, [N-1], [mol-1]

ncPS počet palivových souborů v kontejneru [-], [1]

λj přeměnová konstanta radionuklidu j [T-1], [s-1]

Rozpustnost bývá udávána molární (např. v [mol·l-1]) nebo měrná (např. v [mg·l-1]). Pro naše účely je vhodnější měrná rozpustnost, vztah mezi měrnou a molární rozpustností popisuje rovnice (24)

Rovnice (24): vztah mezi měrnou a molární rozpustností:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

i index chemického prvku i

rM,i měrná rozpustnost chem. prvku i, [M·L-3][kg·m-3]

rN,i molární rozpustnost chem. prvku i, [N·L-3][mol·m-3]

Mi molární atomová hmotnost chem. prvku i, [M·N-1] [g·mol-1]

Rovnice (25): vztah mezi přeměnovou konstantou

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

kde:

j index radionuklidu, odpovídá chem. prvku i

t½,j poločas přeměny radionuklidu j, [T], [s]

λj přeměnová konstanta radionuklidu j [T-1], [s-1]

## Vstupní Data

Tab. 5: chemické vlastnosti, zeleněpodbarvené hodnoty jsou přepočítané z dat podle ARP

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Z** | **značka** | **prvek** | **atomová hmotnost** [2] |  | **rozpustnost** [1] | | **Kd** [1] | | **efektivní difuzní koeficienty** [1] | |  | **IRF** [1] | |  | **rozpustnost** | |
|  |  |  |  |  | bentonit | granit | bentonit | granit | bentonit | granit |  | EDU | ETE |  | bentonit | granit |
|  |  |  | g·mol-1 |  | mol·l-1 | mol·m-3 | m3·kg-1 | m3·kg-1 | m2·s-1 | m2·s-1 |  | % | % |  | kg·m-3 | kg·m-3 |
| 50 | Sn | cín | 118,71 |  | 1,0E-07 | 4,70E-06 | 40 | 0 | 1,2E-10 | 4E-14 |  | 1 | 3 |  | 1,2E-05 | 5,6E-07 |
| 53 | I | jód | 126,90447 |  | neomezená | neomezená | 0 | 0 | 1,0E-11 | 8E-15 |  | 3 | 4 |  | neomezená | neomezená |
| 92 | U | uran | 238,02891 |  | 5,0E-07 | 1,29E-04 | 40 | 1 | 1,2E-10 | 4E-14 |  | 0 | 0 |  | 1,2E-04 | 3,1E-05 |

Tab. 6: vlastnosti radionuklidů a inventáře odpadu, zeleněpodbarvené hodnoty jsou přepočítány z poločasů přeměny a údajů podle ARP

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Z** | **A** | **prvek** | **nuklid** | **atomová hmotnost** [2] | **poločas** [3] **přeměny** [4] |  | **přeměnová konstanta** | |  | **inventář PS** [1] | |  | **celkový inventář kontejnerů** | |
| **EDU** | **ETE** | **EDU** | **ETE** |
|  |  |  |  | g.mol-1 | a |  | a-1 | s-1 |  | Bq | Bq |  | kg | kg |
| 50 | 126 | Sn | Sn126 | 125,907653 | 2,30E+05 |  | 3,01E-06 | 9,55E-14 |  | 4,969E+09 | 1,714E+10 |  | 0,0761 | 0,113 |
| 53 | 129 | I | I129 | 128,904984 | 1,61E+07 |  | 4,31E-08 | 1,36E-15 |  | 1,962E+08 | 8,592E+08 |  | 0,215 | 0,404 |
| 92 | 238 | U | U238 | 238,05078826 | 4,468E+09 |  | 1,55E-10 | 4,92E-18 |  | 1,392E+09 | 5,222E+09 |  | 783 | 1260 |

Tab. 7: parametry kontejnerů podle [1] a [5]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **typ kontejneru  (paliva pro)** | **elektrárna** | **počet PS/UOS** | **délka** | **vnější průměr** | **volný objem** |
|  |  |  | mm | mm | m3 |
| VVER 440 | EDU | 7 | 3670 | 650 | 0,2 |
| VVER1000 | ETE | 3 | 5050 | 701 | 0,2 |

Tab. 8: ostatní údaje

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **parametr** | **jednotky** | **hodnota** | **odkaz** |
| průměr superkontejneru | mm | 2100 | [1] |
| délka roku podle IUGS + IUPAC | s | 31556925,445 | [2] |
| rychlost degradace matrice | a-1 | 1E-08 | [1] |
| Avogadrova konstanta | mol-1 | 6,02214076E+23 | [2] |
| vzdálenost os vrtů (středů kontejnerů) | m | 32,5 | [6] |

# Závěr

Byly navrženy dvě možné okrajové podmínky – koncentrace radionuklidů ve volném objemu kontejnerů s uloženým vyhořelým jaderným palivem. První typ vnitřní okrajové podmínky je podle aktualizace referenčního projektu – rovnice (12), druhý typ je řízen rozpouštěním uranové   
matrice – rovnice (19).

Dále je upozorněno na možnost ovlivnění následujících kontejnerů, které jsou umístěny ve směru toku, na tedy vytvoření modelové úlohy se dvěma kontejnery.

# Citovaná literatura

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | A. Vokál, V. Havlová, M. Hercík, J. Landa, D. Lukin a J. Vejsada, Hodnocení dlouhodobé bezpečnosti HÚ, Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, III. etapa studie zadávací bezpečnostní zprávy, C. dokumentární část C.2 Hodnocení dlouhodobé bezpečnost HÚ, Řež, 09/2010. |
| [2] | Wikipedia, [Online]. Available: https://www.wikipedia.org/. |
| [3] | Labolatorie National Henri Becquerel, „Recomended data,“ [Online]. Available: http://www.nucleide.org/DDEP\_WG/DDEPdata.htm. |
| [4] | NuDat 2.8, „https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/,“ [Online]. |
| [5] | J. Landa, *GoldSimový model hlubinného úložiště.* |
| [6] | I. Prachař, Aktualizace referenčního projektu hlubinného úložiště radioaktivních odpadů v hypotetické lokalitě, III. etapa studie zadávací bezpečnostní zprávy, II. etapa - Variasnty řešení a jejich návrh, D. Stavební část - podzemí, SEZNAM DOKUMENTACE, ÜJV Řeř, a.s. - divize ENERGOPROJEKT Praha, 05/2010. |