



METODIKA HODNOCENÍ LOKALIT NA ZÁKLADĚ HYDRAULICKÝCH A TRANSPORTNÍCH SIMULACÍ

Jakub Říha, Jiří Maryška, Jiřina Královcová

29.9.2020 | *Praha*



- Tento příspěvek je výsledkem řešení projektu správy úložišť radioaktivních odpadů „Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště„
- Spolupráce se SÚRAO, ÚJV a.s., ProGeo s.r.o.

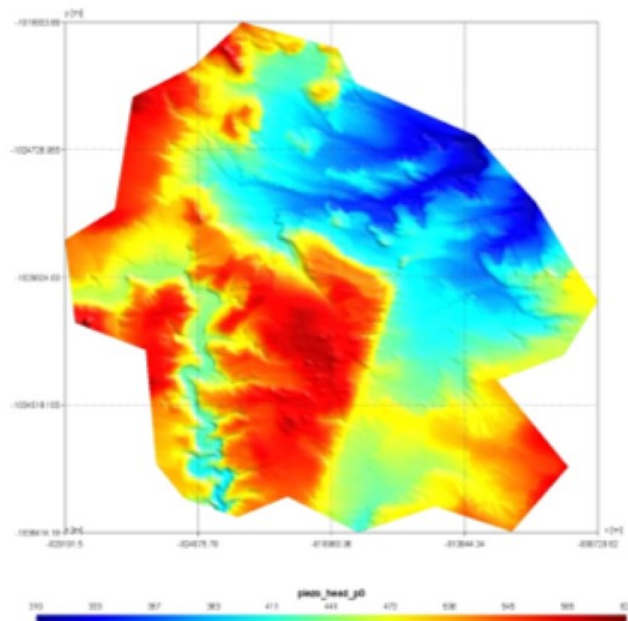
OSNOVA

- Hydraulický model
- Transportní model
 - particle tracking
 - kvantifikace míry ředění
- Závěr

V rámci PBHÚ provedeno pro každou z 9 kandidátních lokalit

HYDRAULICKÝ MODEL

- Hydraulický model realizovaný ve Flow123d:
 - tvar modelové domény zohledňuje rozvodí,
 - v modelu jsou zahrnuta zlomová pásma 1., 2. a 3. kategorie (dle klasifikace SKB),
 - model kombinuje ekvivalentní kontinuum (horninový masiv, přípovrchová zóna) a diskrétní puklinovou síť (zlomová pásma),
 - hladina podzemní vody je mělce pod terénem (kritérium kalibrace),
 - modelová doména je diskretizována nepravidelně pomocí trojúhelníků a čtyřstěnů.
- Výstupem hydraulického modelu je ustálené pole proudění (vektory darcyovské rychlosti v těžištích elementů).



TRANSPORTNÍ MODEL – PARTICLE TRACKING

- Particle tracking – ze stanovené úrovně, polygonu HÚ (krom ochranných zón kolem zlomů), pravidelná mřížka bodů.
 - Vyústění cest dle povodí
 - Délka cesty
 - Doba zdržení

Před samotným výpočtem je třeba přepočíst darcyovské rychlosti na skutečné jejich vydělením porozitou v daném elementu. Pro porozity je uplatněn koncept lineárního poklesu:

$$\phi(z) = \phi_0 \cdot \left(1 - \frac{z}{\phi_{dc}}\right),$$

kde z je hloubka pod terénem a ϕ_{dc} je teoretická vzdálenost (hloubka), na níž porozita vymizí. Porozita je v modelu zadávána po elementech takto:

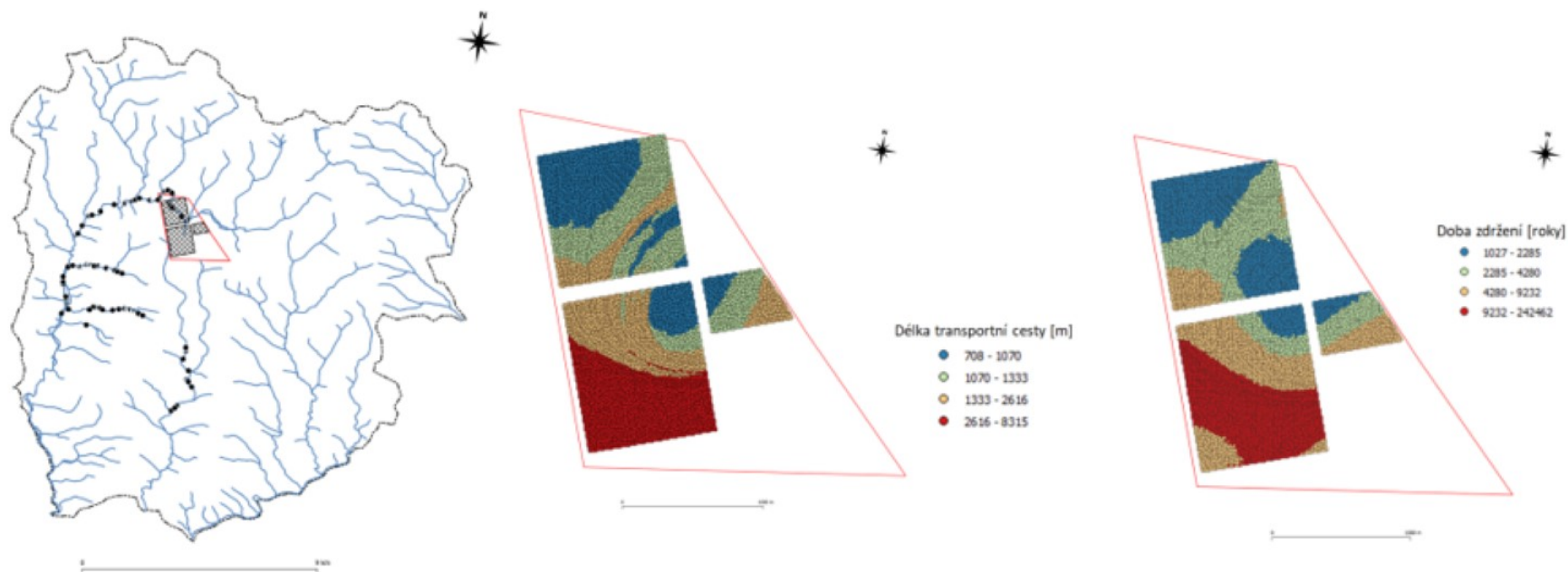
- Pro elementy přirozeně rozpukaného masivu: $\phi_0 = 1\%$; $\phi_{dc} = 2000 \text{ m}$.
- Pro elementy výhradně ve zlomové zóně: $\phi_0 = 4\%$; $\phi_{dc} = 2000 \text{ m}$.
- Pro elementy reprezentující kombinaci zlomové zóny a přirozeně rozpukaného masivu: $\phi_0 = 1\%$ až 4% ; $\phi_{dc} = 2000 \text{ m}$.



ADVEKTIVNÍ TRANSPORTNÍ MODEL A VÝPOČET ŘEDĚNÍ

- Stanovení ředění je řešeno na základě výstupů modelu advektivního transportu s časem simulace dostatečným pro přibližné ustálení koncentračního pole (100 000 let). Transportován byl nespecifikovaný konzervativní nuklid, nebyla uvažována difúze ani disperze (krom numerické). Ve všech elementech v rozsahu polygonů uvažovaného HÚ ve vrstvě mezi nadmořskými výškami danými stanovenou kótou úložiště na dané lokalitě plus minus 15 m byly předepsány zdroje s konstantní vydatností hmotnostních jednotek na metr krychlový za sekundu (jelikož ředění je bezrozměrný parametr, na konkrétní hodnotě nezáleží).
- Výpočet ředění pro jednotlivá povodí probíhá ve čtyřech krocích:
 - identifikace 2D povrchových drenážních elementů a jejich rozdělení dle povodí,
 - nalezení 3D elementů, které s těmito elementy sousedí (2D elementy jsou hraniční a ve Flow123D slouží jen k předepsání okrajových podmínek, koncentrace se na nich nepočítá) – podpovrchové drenážní elementy,
 - analýza výsledků transportu:
 - z podpovrchových drenážních elementů v každém povodí vybrán ten, který má nejvyšší ustálenou koncentraci,
 - spočtena průměrná ustálená koncentrace ve zdrojové oblasti (v elementech s předepsanými zdroji),
 - ředění pro každé povodí spočteno jako podíl ustálené koncentrace ve vybraném podpovrchovém drenážním elementu a průměrné (maximální) koncentrace ve zdrojové oblasti.

UKÁZKA VÝSTUPU – LOKALITA MAGDALÉNA





VÝSLEDKY FLOW123D

Lokalita	Délka cesty [m] - medián	Doba zdržení [roky] - medián	Ředění
Březový potok	2743	9149	4.00E-04
Čertovka	2322	2463	3.52E-02
Čihadlo	4318	7333	5.55E-04
Horka	3120	5637	3.44E-03
Hrádek	3422	3305	2.30E-03
Kraví hora	2136	5244	9.11E-03
Magdalena	1333	1689	8.20E-03
EDU	2744	4280	1.34E-03
ETE	1659	8468	3.68E-03

Čím menší hodnota,
tím lépe



POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TUL, PROGEO, UJV

Medián délky transportní cesty [m]	Flow123D	MODFLOW	FEFLOW
Březový potok	2743	1671	-
Kraví hora	2136	1579	-
Magdaléna	1333	1210	-
Čihadlo	4318	2543	2950
Čertovka	2322	1916	-
Horka	3120	2345	3170
Hrádek	3422	1103	-
Temelín	1659	1205	-
Dukovany	2774	2573	-

Medián doby zdržení [roky]	Flow123D	MODFLOW	FEFLOW
Březový potok	9149	11285	-
Kraví hora	5163	5840	-
Magdaléna	1689	2430	-
Čihadlo	7333	8620	8921
Čertovka	2463	4573	-
Horka	5637	6116	7240
Hrádek	3305	3036	-
Temelín	8468	8010	-
Dukovany	4280	7757	-

Vzniklé rozdíly jsou způsobeny celou řadou faktorů:

- Rozdíly v proudovém poli
- Různé implementace metod particle tracking
- Různá diskretizace
- Různé konceptuální přístupy modelů
- Rozsah modelové domény (vertikální)

ZÁVĚRY

■ Metoda particle tracking

- hledá nejrychlejší cesty, neříká nic o tom, jaká koncentrace se cestou šíří
- dobrá pro prvotní ohodnocení lokality
- v kombinaci s kvantifikací míry ředění (vyhodnocení simulace advektivního transportu) lze ohodnotit i míru kontaminace dílčích povodí drenáže
- má rezervy v modelech kombinujících EPM a DFN

DALŠÍ VÝZKUM

- Modul BIORAD – TH03030274 „Software pro hodnocení šíření radionuklidů na rozhraní geosféra – biosféra a dopadů na člověka“ – 2017–2020
- Vliv vývoje morfologie terénu a dešťových srážek – GEOTRAN – (ČGS, PROGEO, VŠB-TUO) – TK02030120 „Vliv změn vlastností geosféry na vývoj transportu radionuklidů z prostoru HÚ do biosféry“ – 2019–2022
- ČVUT+ČGS („Rozvoj SW nástrojů pro modelování horninového prostředí a transportních jevů“), PROGEO („Reprezentace poruchových zón v HG modelech pro hodnocení bezpečnosti HÚ“) – nepodpořeno
- Modelový rámec by bylo vhodné doplnit o simulaci zdrojového členu a blízkého pole – příprava.

MODUL BIORAD

- SW nástroj Biorad je určen k výpočtu příkonu efektivní dávky z radionuklidů uvolněných z úložiště.
- Myšlenka integrace maxima procesů šíření radionuklidů do jediné SW platformy Flow123d.
- Model implementován v jazyce Python. SW má 4 moduly:
 - modul pro simulaci proudění a transportu v nenasycené zóně,
 - biosférický modul pro výpočet efektivní dávky,
 - modul databáze potřebných dat (konverzní faktory, transferové koeficienty, spotřební koše, atp.),
 - grafické uživatelské rozhraní.



Děkuji za pozornost.

