



Postupy verifikace transportních modelů a jejich vstupních dat s použitím terénních experimentů

*Milan Hokr,
Aleš Balvín, Libor Gvoždík, Václava Havlová,
Jakub Říha, Dagmar Trpkošová, Aleš Vetešník*

SSFC 2020, Praha

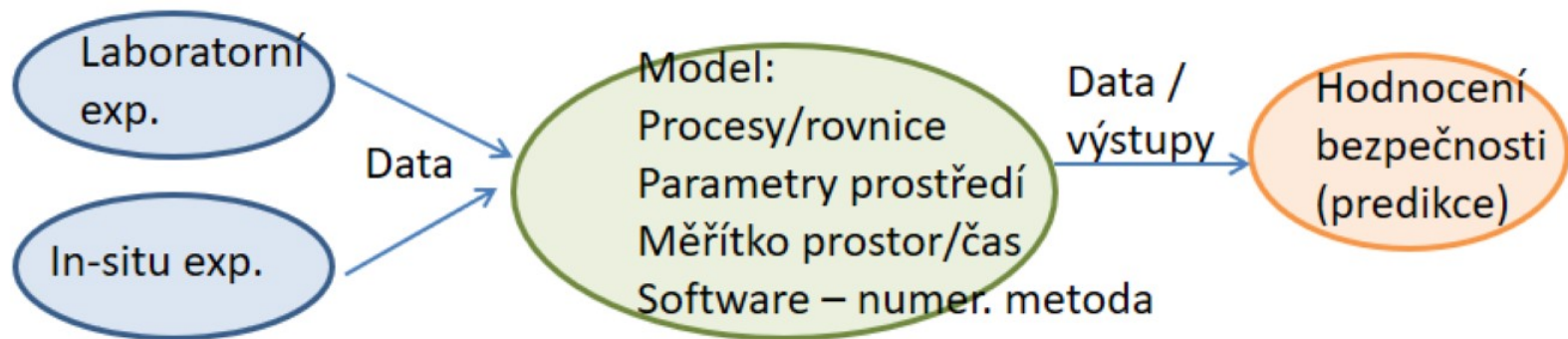


Přehled

- Využití modelů pro hodnocení bezpečnosti
- Platformy spolupráce pro „porovnání modelů“ na společných datech
 - České týmy TUL, FJFI, ÚJV, PROGEO
- Projekt TF GWFTS
 - Experimenty in-situ difúze v žulové matici (Onkalo FI, Aspo SE)
- Projekt DECOVALEX
 - Experiment obnovení hydraulických, mechanických a chemických podmínek okolo rozrážky (Mizunami JP)
- Shrnutí

Kontext

- Role matematických modelů a numerických simulací
 - Interpretace laboratorních a in-situ experimentů
 - Predikce procesů v rámci hodnocení bezpečnosti
 - Data o transportních procesech v různém měřítku



Cíle – „porovnání“ modelů

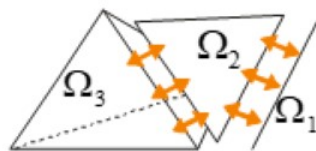
- (kontrola správnosti implementace metody – výpočtu)
- Postup vložení měřených dat do struktury dané softwarem
 - Diskretizace (numerická metoda)
 - Různé rovnice pro podobný jev
 - Vzájemně závislé parametry
- Vysvětlení experimentálně pozorovaných jevů
 - Více postupů ke stejnému výsledku
- Citlivost výpočtu na numerické parametry

Další cíle / výstupy

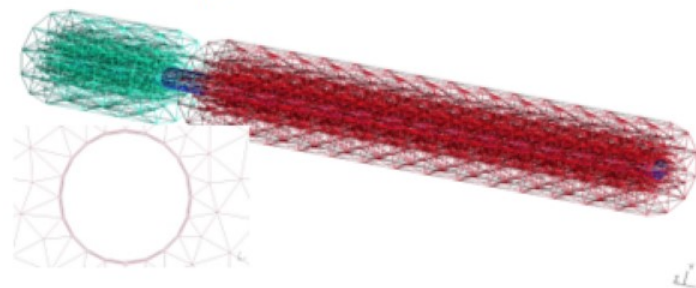
- Jak přesně parametry známe
- Jaký efekt mají na transport v rámci hodnocení bezpečnosti
- Posouzení přínosů experimentu – určení parametru/jevu versus artefakty

Simulační softwary

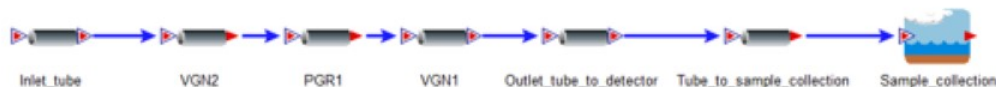
- Flow123d
 - TUL



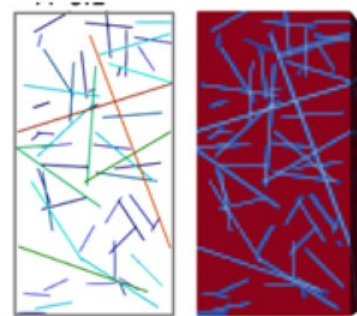
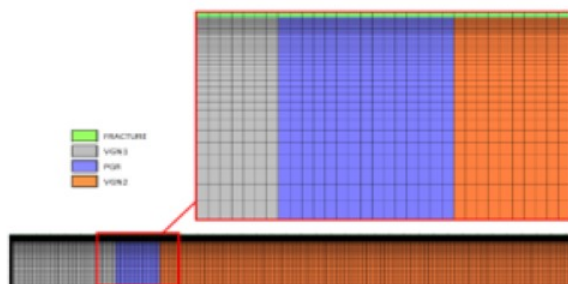
- GoldSim
 - FJFI, ÚJV



- MT3DMS (MODFLOW)
 - PROGEO



- ConnectFlow/NA PSAC
 - PROGEO

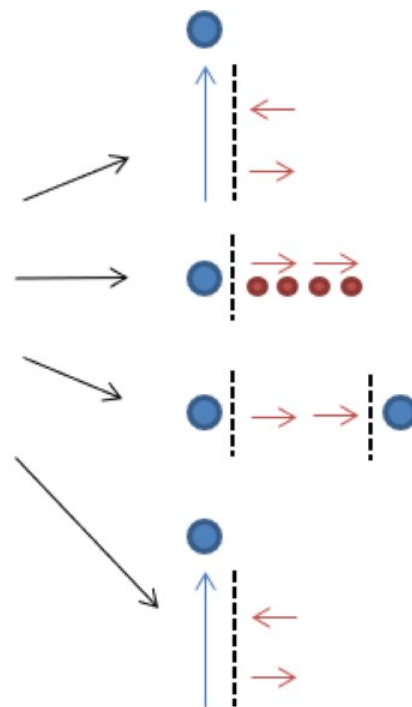


Příklady řešení model+experiment

- Mezinárodní spolupráce
 - GWFTS – Task Force on Groundwater Flow and Transport of Solutes
 - DECOVALEX (Development of Coupled Codes and Their Validation against Experiments)
- Experimenty
 - WPDE Water Phase Diffusion Experiment (Onkalo, FI)
 - LTDE-SD Long Term Sorption Diffusion Experiment (Äspö, SE)
 - TDE Through Diffusion Experiment (Onkalo, FI)
 - GREET Groundwater REcovery Experiment in Tunnel (Mizunami, JP)

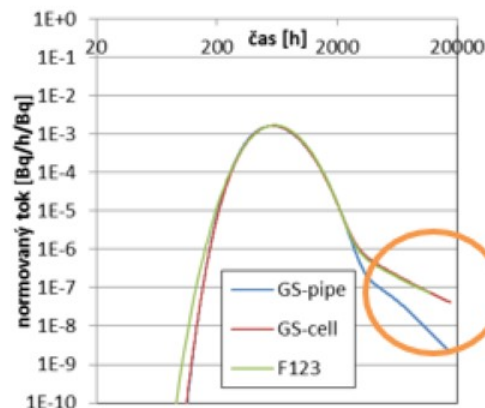
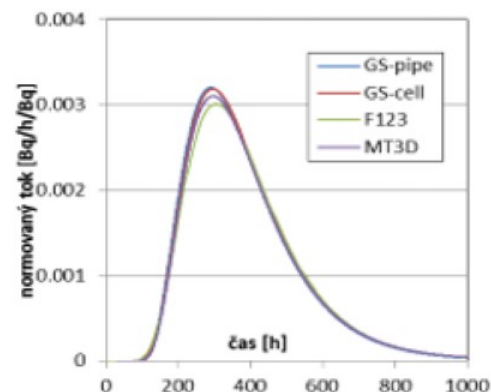
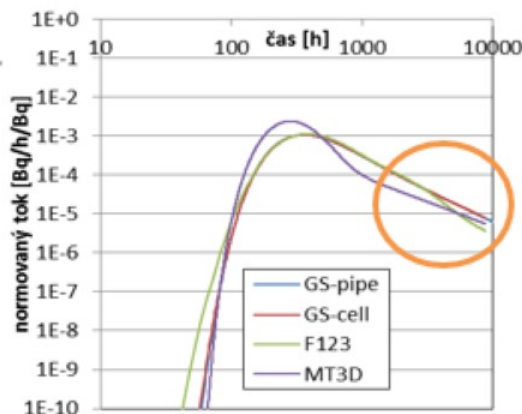
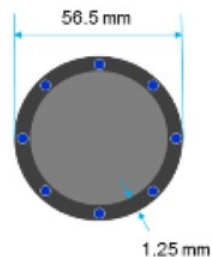
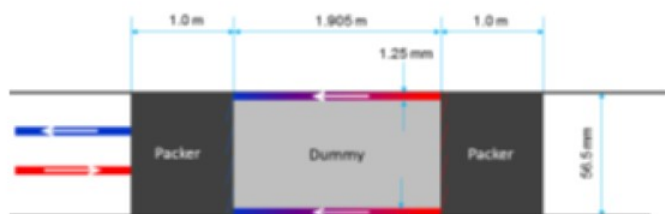
Příklady řešení model+experiment

Projekt	Data (exp.)	Procesy	Měřítko
GWFTS 9A	FI WPDE	Adv+diff.+sorp.	cm-m
GWFTS 9B	SE LTDE-SD	Difúze+sorpce	cm
GWFTS 9C	FI TDE	Difúze+sorpce	cm
GWFTS 9D	Synt.	Adv.+dif.+sorp. +rozpad	km
D2019-C	JP GREET	Adv.+disper.	10m



GWFTS 9A – WPDE

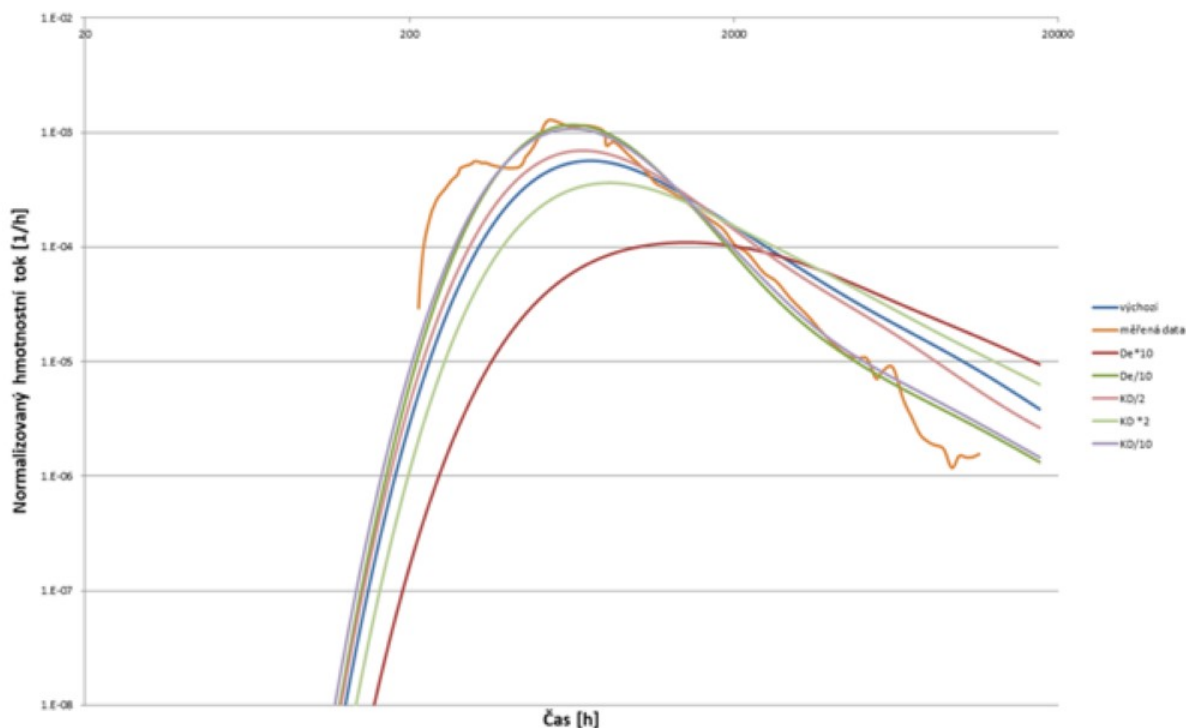
- Průnik štěrbinou podél stěny vrtu s efektem difúze do matrice



Projev
difúze do
matrice

WPDE – příklad kalibrace

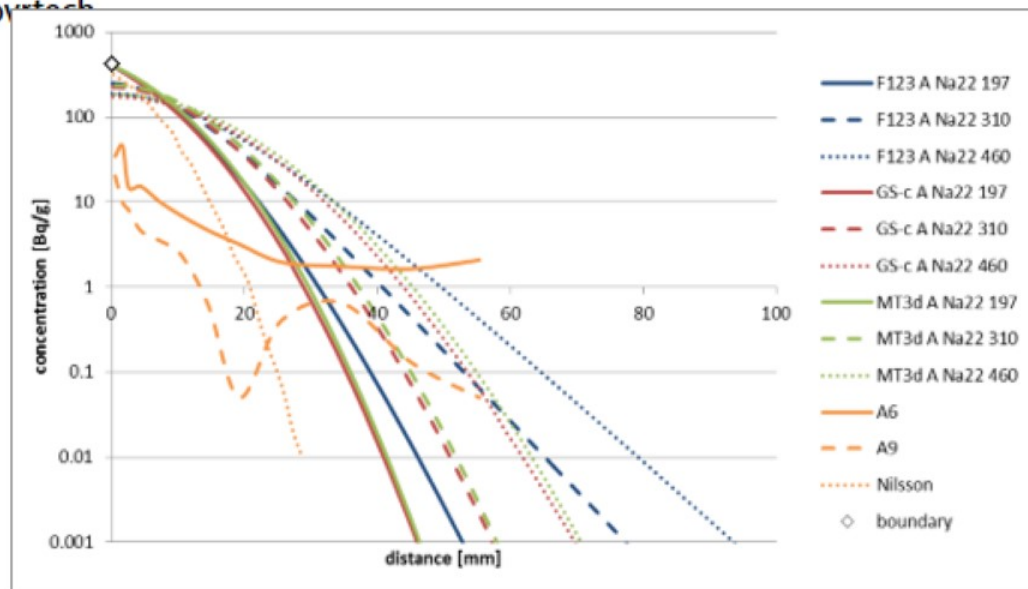
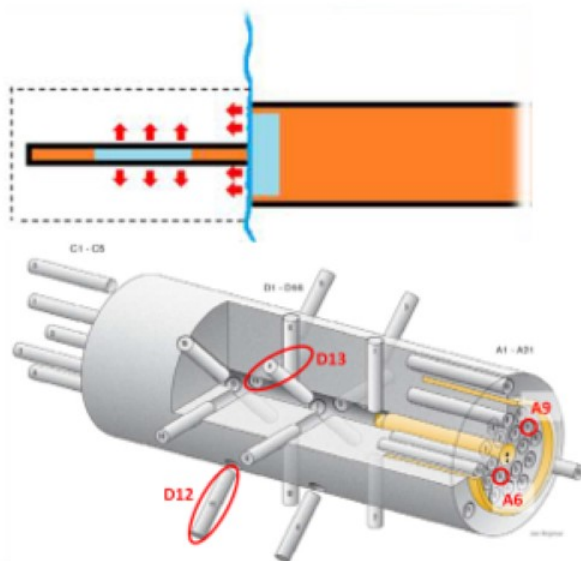
- Určení parametrů difúze a sorpce s „nejlepší“ shodou
- Konfrontace s laboratorně určenými a rozmezím fyzikálně reálných hodnot



GWFTS 9B – LTDE-SD

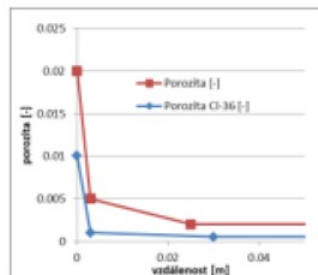
- Difúze z povrchu pukliny a stěny vrtu s profilem po rozebrání experimentu
- Průběh koncentrace (aktivity) v rezervoáru s cirkulací,
- Finální rozložení koncentrace v rozřezaných mikrovrtkách
- ... bilance

- Úvodní test s výchozími daty
- Efekt difúze během skladování jader (197-460 dní)



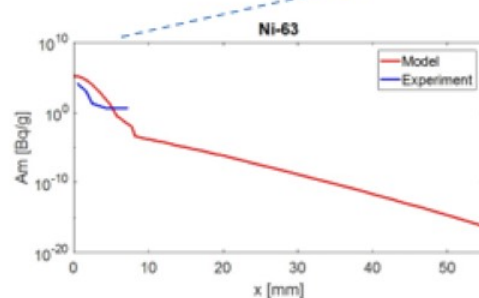
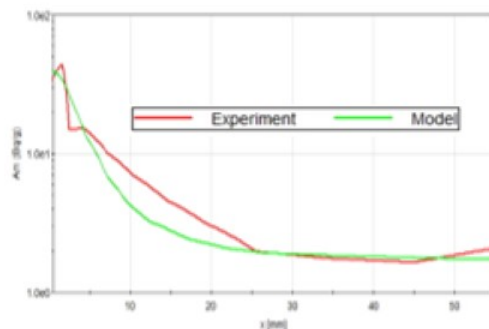
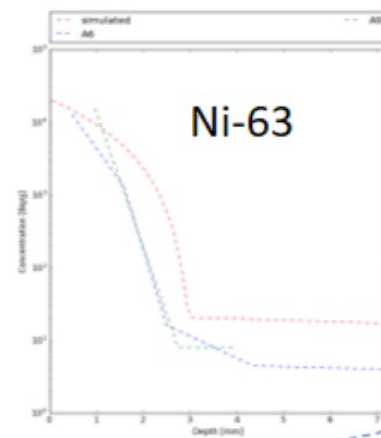
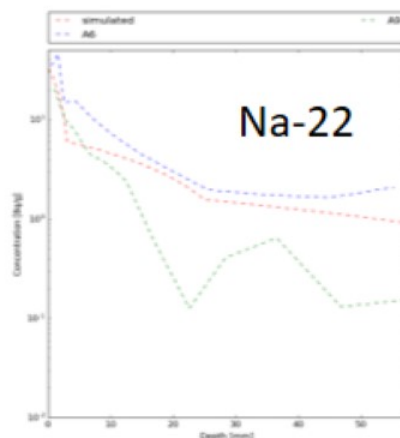
LTDE-SD kalibrace

- 3 zóny
- Flow123d



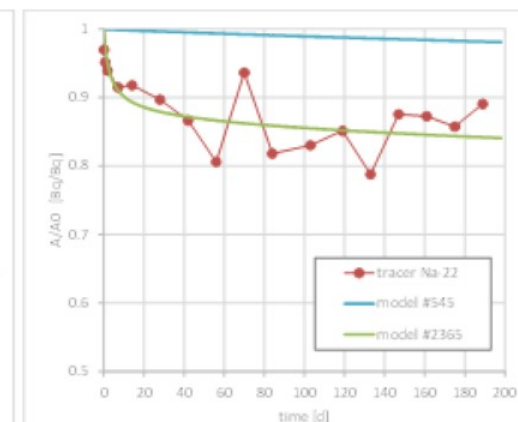
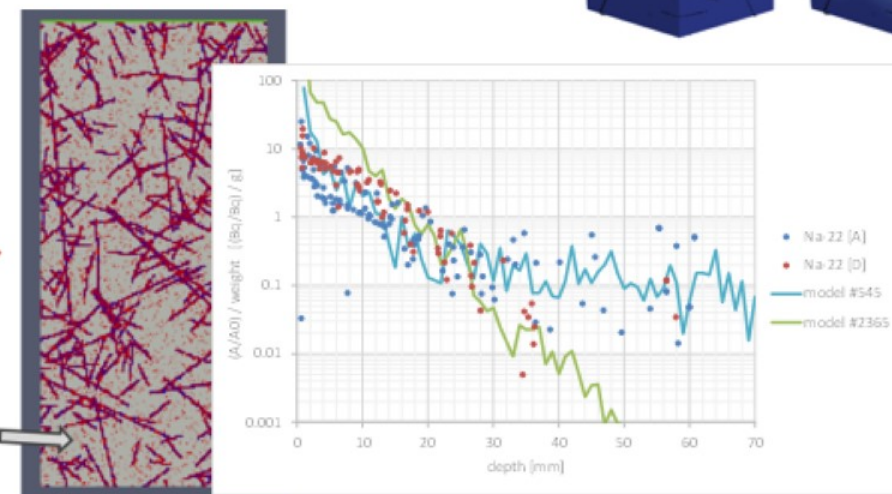
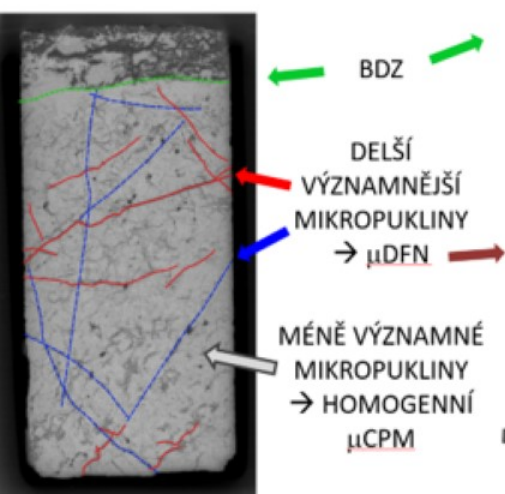
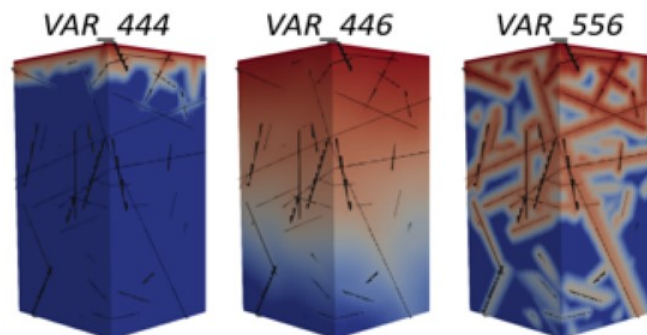
- Spojité změna
- GoldSim

$$D_e = D_{e0} + \alpha d^n$$



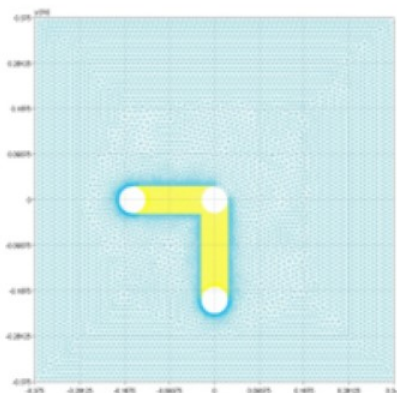
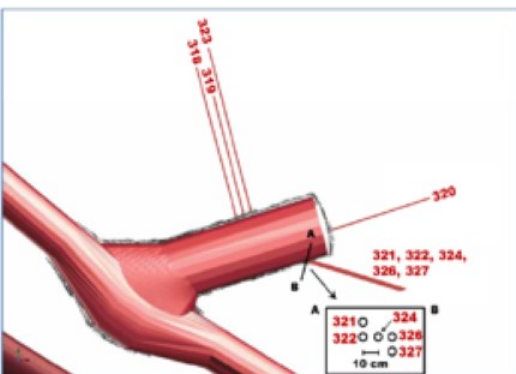
LTDE-SD mikro-DFN model

- Nehomogenita na úrovni mikrostruktury
- Síť mikropuklin (3D) transformovaná na nehomogenní porézní prostředí (CPM) „upscaling“

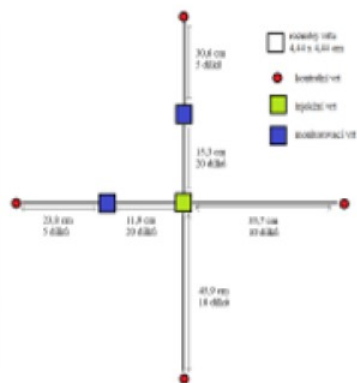


GWFTS 9C – TDE

- Through Diffusion Experiment
- Pokles ve zdrojovém vrtu a detekce v sousedním vrtu (jen nesorbující)
- Anizotropie
- Artefakt advekce?

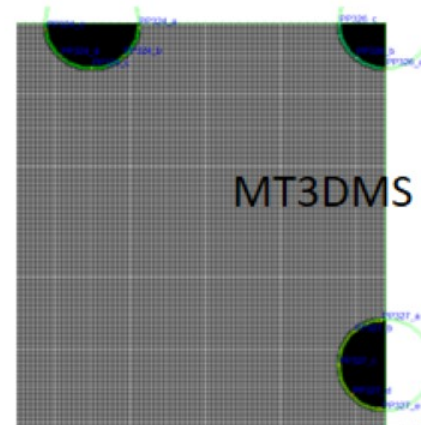
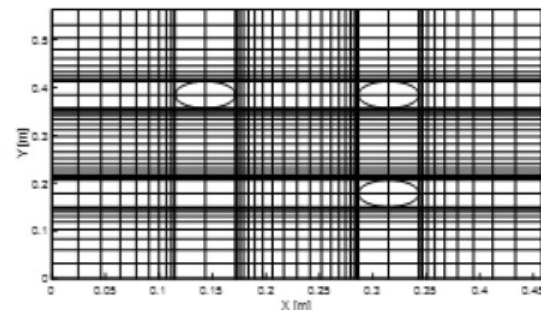


Flow123d



Goldsim1

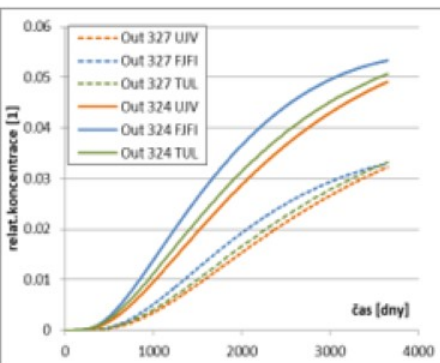
Goldsim2



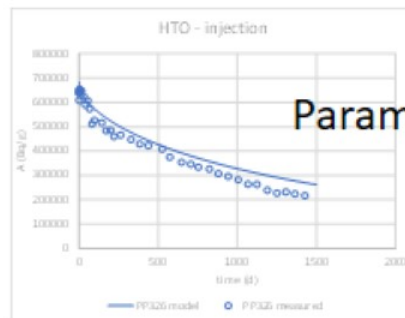
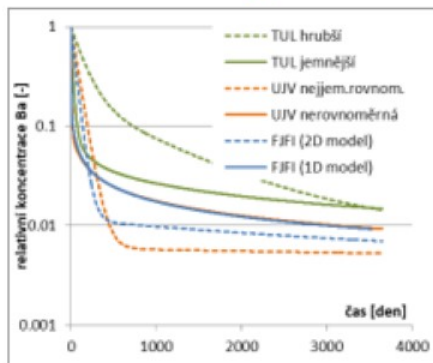
TDE výsledky

- Porovnání modelů
- Kalibrace parametrů

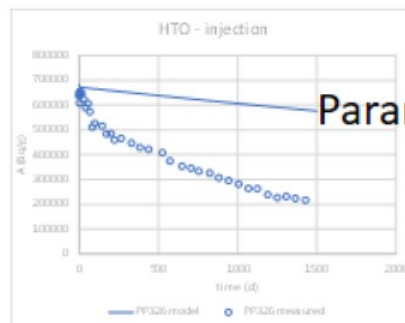
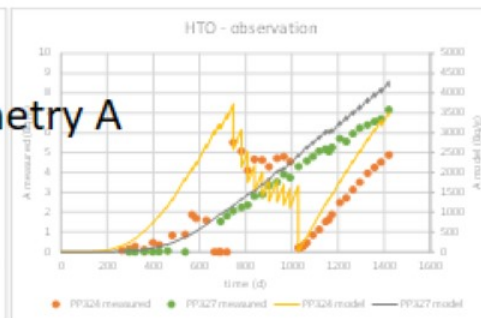
H-3 detekční



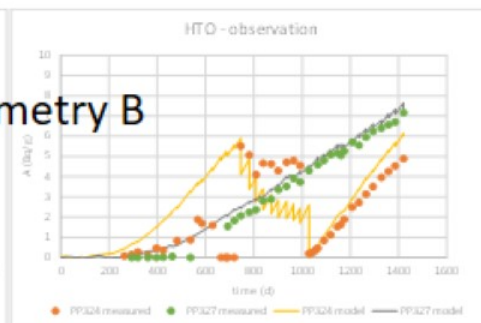
Ba-133 injekční



Parameter A

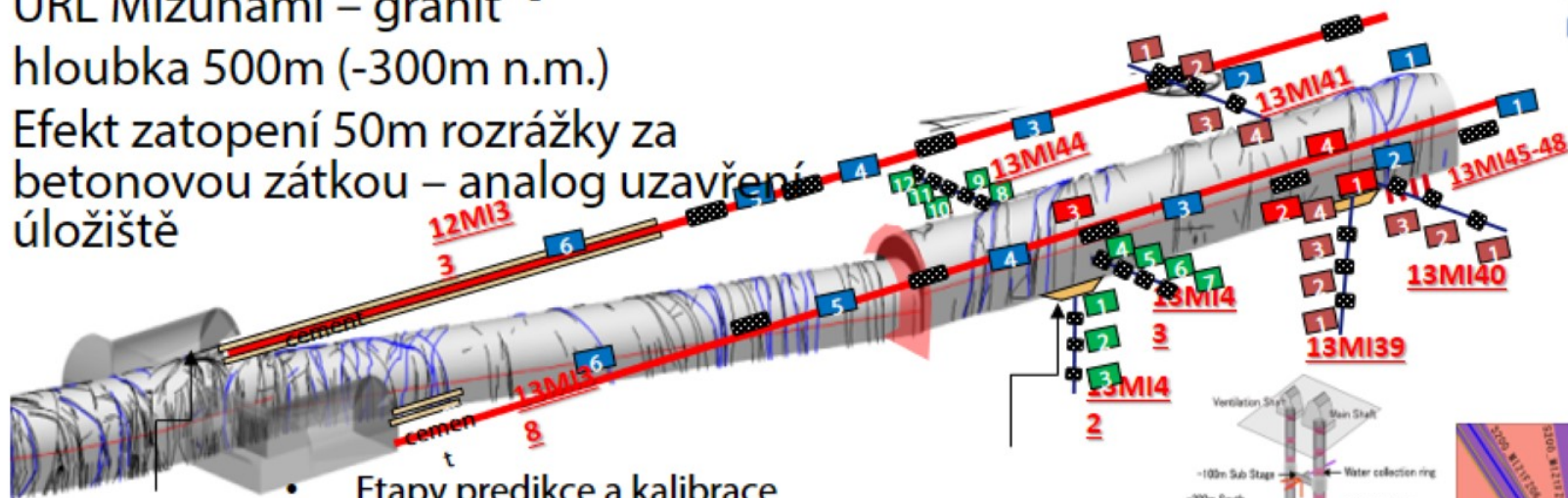


Parameter B



Experiment GREET

- URL Mizunami – granit
- hloubka 500m (-300m n.m.)
- Efekt zatopení 50m rozrážky za betonovou zátkou – analog uzavření úložiště

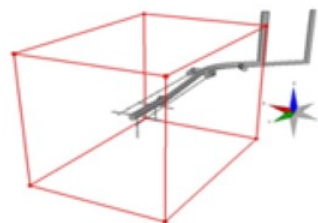
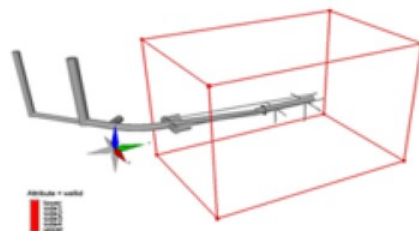
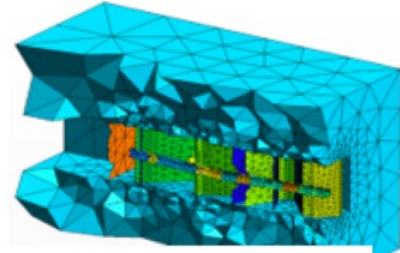


- Etapy predikce a kalibrace
- Měření průběhu tlaku a koncentrací stopovačů
- Vztah podmínek při průzkumu a v čase po uzavření úložiště
- Nehomogenní hydraulická komunikace a výměna vody na velkou vzdálenost



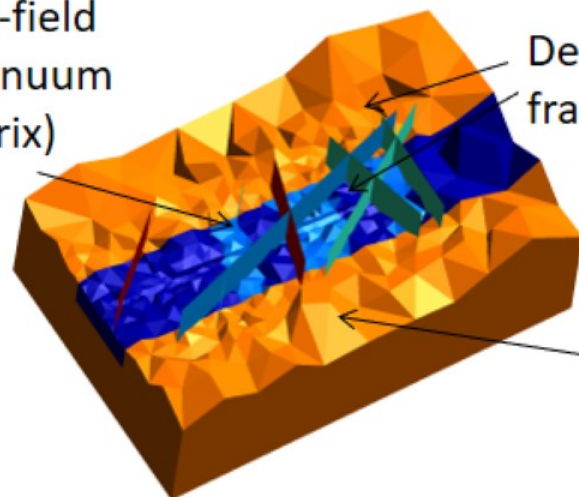
Konfigurace modelu

- Měřítko rozrážky (předepsáno zadáním) x měřítko celé URL
- Využití dat z průzkumných vrtů a mapování stěny tunelu
 - Deterministické subvertikální pukliny
 - Kontinuum pro bloky horniny mezi a pro vzdálené pole
- Časově proměnné podmínky během ražby
- Prosakující zátka

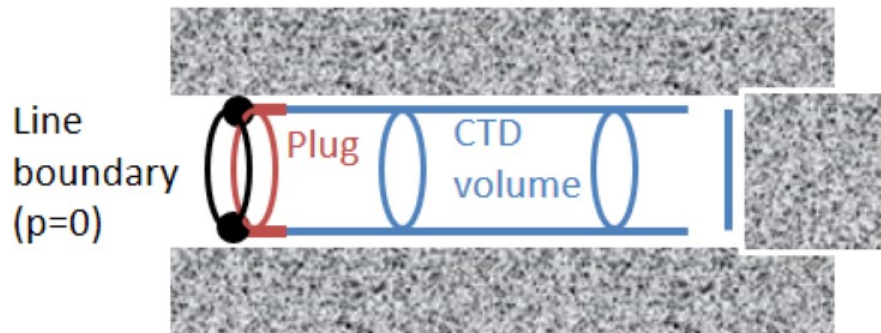


Near-field
continuum
(matrix)

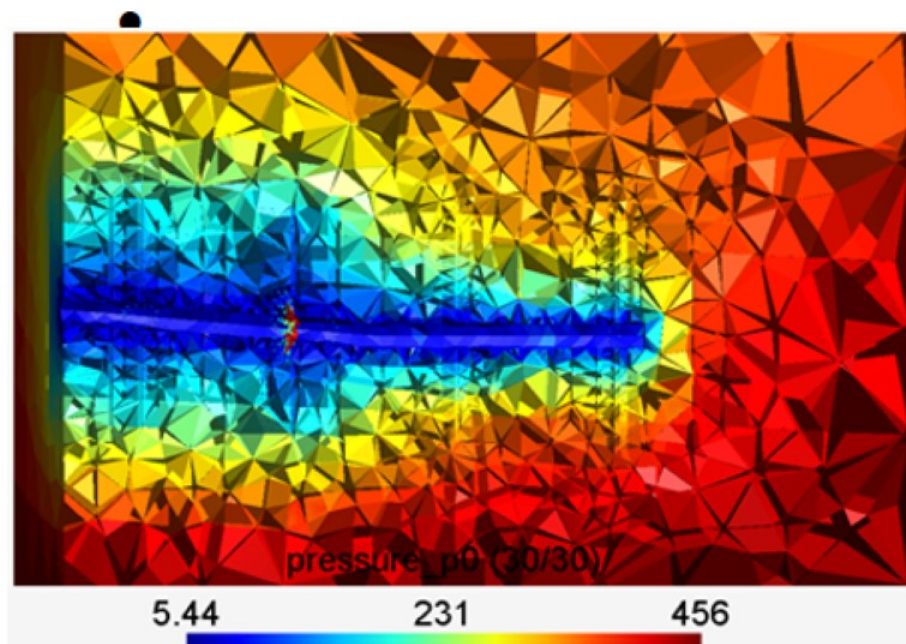
Deterministic
fractures



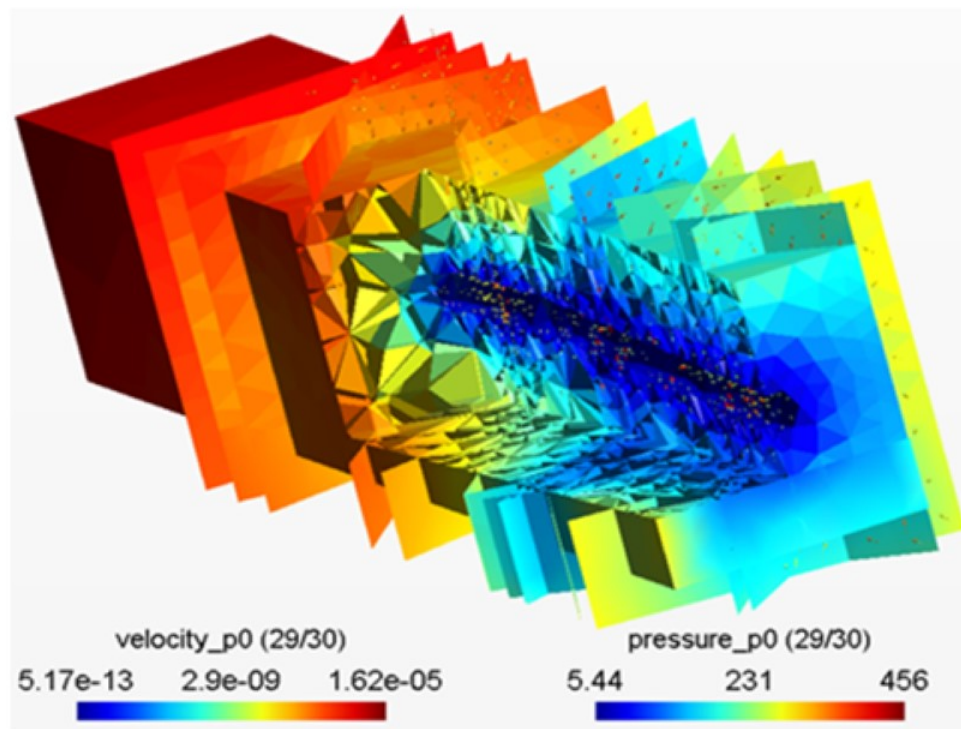
Far-field
continuum
(homog.)



Příklad výsledků hydraulického modelu



Tlaková výška [m]

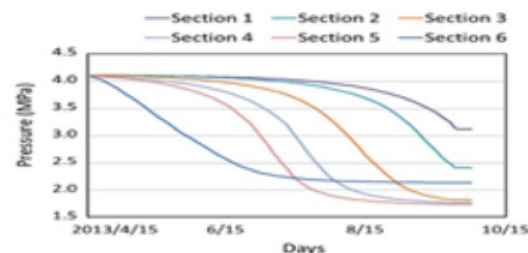
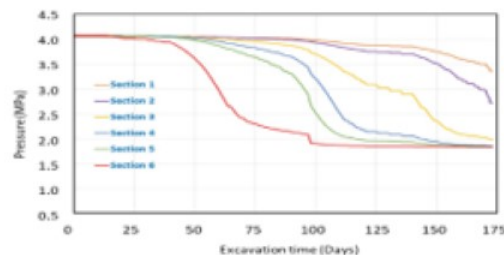
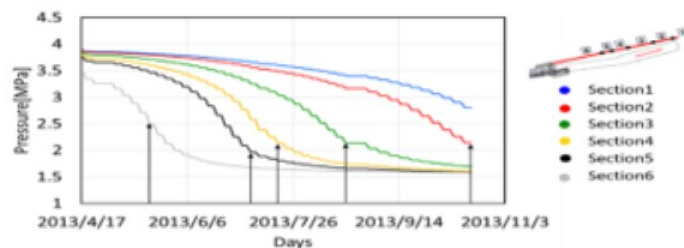


Rychlost [m/s]

Tlaková výška [m]

Porovnání predikčních modelů řešitelských týmů

- Japan Atomic Energy Agency (Iwatsuki, Onoe, Ozaki)
- SANDIA National Laboratory (USA) (Hadgu, Kalinina)
- Technická univerzita v Liberci



Porovnání výsledků kalibrace

12MI33



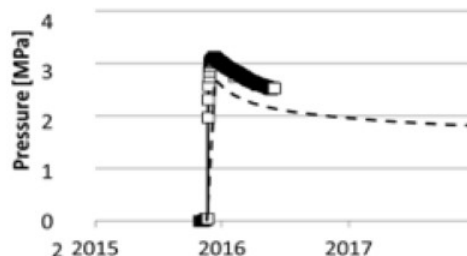
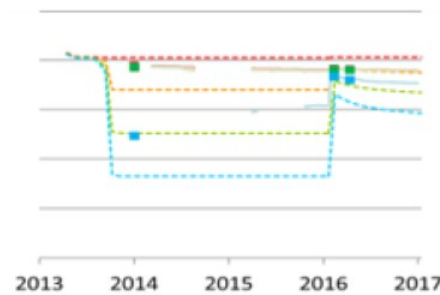
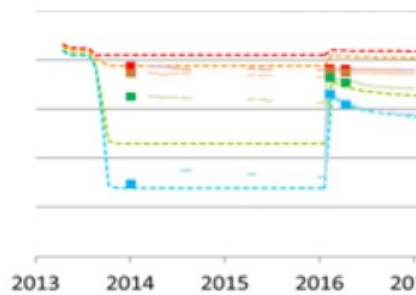
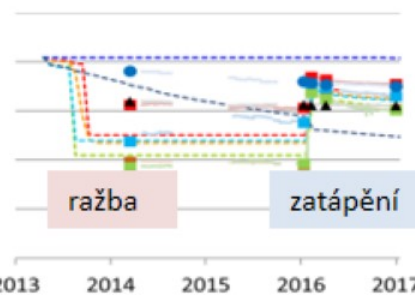
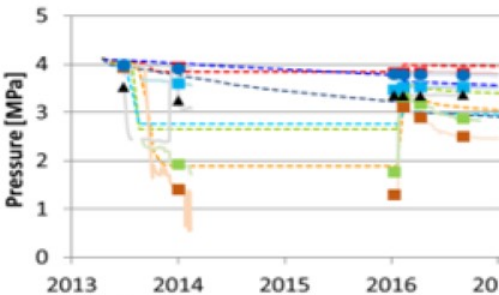
13MI38



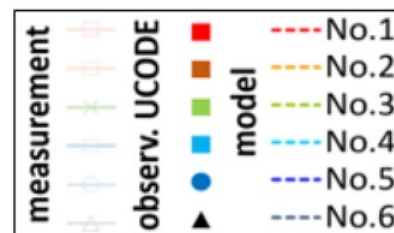
13MI39



13MI40

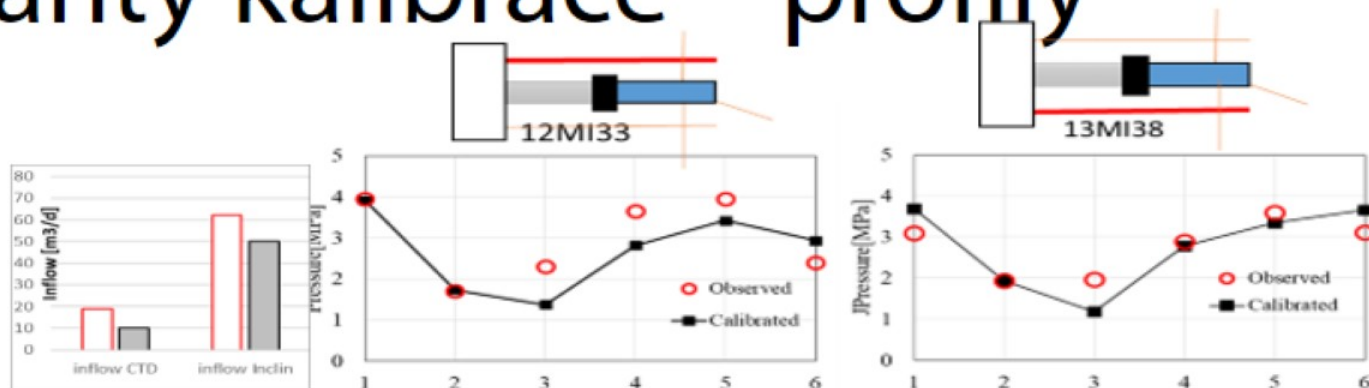


CTD
(zatápění)

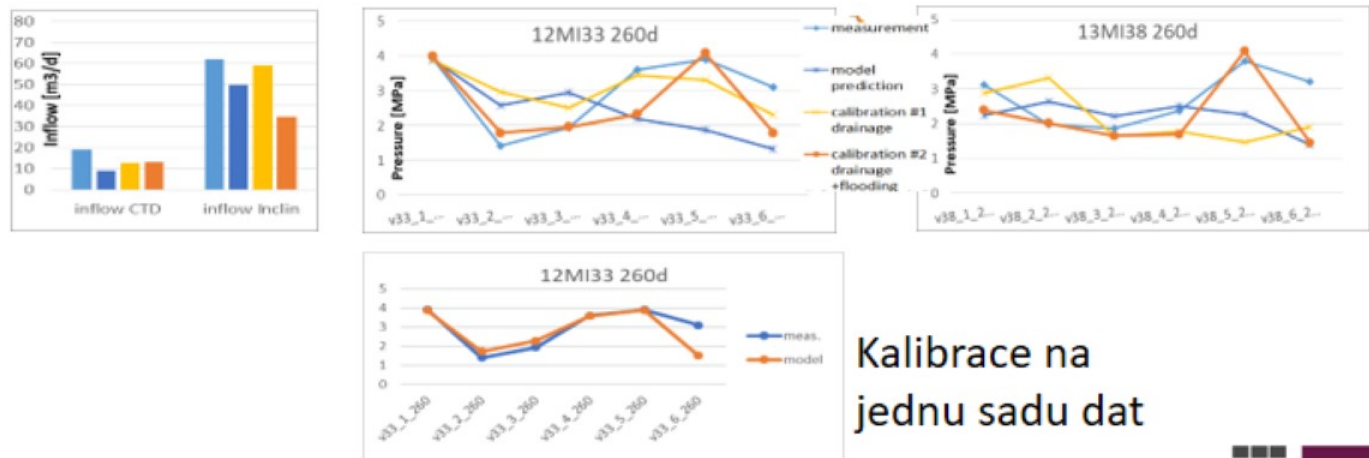


Varianty kalibrace – profily

• JAEA



• TUL



Kalibrace na
jednu sadu dat

Shrnutí

- Zhodnoceny výhody a omezení různých simulačních softwarů (i koncepčních modelů)
- Numerické metody založené na diskretizaci citlivé při vysoké sorpci
- Difúzní a sorpční vlastnosti granitu in-situ odlišné od laboratorních vzorků ... „BDZ – borehole disturbed zone“
 - Hodnoty parametrů i řádově
 - Je to jen jedno z možných vysvětlení!
 - I vyhodnocení laboratorních penetračních a průnikových testů doporučeno s interpretací nehomogenity
- Hodnocení výsledků v rámci GWFTS vedlo k revizi experimentálních dat
 - LTDE-SD Tvar profilu jako artefakt, pod mezí detekce
- Data i při nejistotách umožňují formulovat „konzervativní odhad“
- Modelování experimentu GREET potvrdilo „vratnost“ hydraulických podmínek
 - Ale nevratný přesun vody z jiných hloubek (změna chemismu)
 - Komunikaci lokálně nelze plně predikovat z průzkumných vrtů
 - Použitelnost stochastických i deterministických modelů

- Děkuji za pozornost

- Podpora

- Projekty SÚRAO

- Výzkumná podpora pro bezpečnostní hodnocení hlubinného úložiště (ZL22,ZL29)
 - THMC modelování v rámci mezinárodního projektu DECOVALEX 2019

- Zahraniční partneři / koordinátoři

- SKB, POSIVA, JAEA, ...



SÚRAO

SPRÁVA ÚLOŽIŠT
RADIOAKTIVNÍCH
ODPADŮ