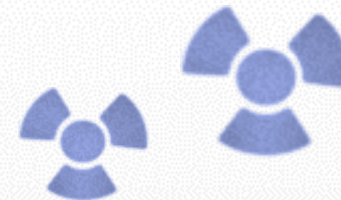




FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE



KJCH

Migrace radionuklidů a toxických látek v životním prostředí

Ing. Barbora Drtinová, Ph.D.



6.5.2025

Skupina „Migrace“



Vedoucí skupiny:

doc. Mgr. Dušan Vopálka, CSc.

Odborní pracovníci:

doc. Merja Herzig, Ph.D.

Mgr. Lucie Baborová, Ph.D.

Ing. Barbora Drtinová, Ph.D.

Mgr. Aleš Vetešník, Ph.D.

Ing. Alena Zavadilová, Ph.D.

Emeritní pracovník:

doc. Ing. Karel Štamberg, CSc.

Techničtí pracovníci:

Ing. Šárka Hráčková

Olga Múčková

Doktorandi:

Ing. Marta Burešová

Ing. Lucie Švamberová

Studenti:

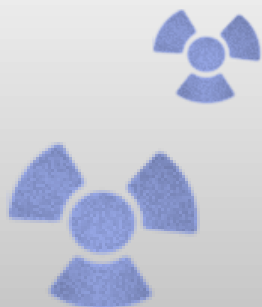
Bc. Erik Marenčák

Václav Metelák

Vojtěch Prchal

Kryštof Konečný

Lada Kardaeva



Hlavní směry výzkumu



Experimentální studium interakce vybraných radionuklidů s materiály bariér úložišť odpadů a s horninovými materiály a difúze kritických radionuklidů materiály bariér

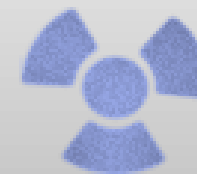
Modelování speciace ve složitých geochemických systémech jak s uvážením rozpouštění/srážení, tak interakce rozpuštěných látek s pevnou fází, včetně modelování vícerozměrného transportu konvektivního i difúzního charakteru v prostředích



GoldSim Monte Carlo Simulation Software
PhreeqC
The Geochemist's Workbench
MatLab a dalších



Celkové hodnocení podzemního úložiště ozářeného jaderného paliva a vysoce aktivních radioaktivních odpadů (Performance Assessment)



RAO a VJP - původ



- jaderná energetika (VJP ~ 1% objemu, 90% radiace všech odpadů)
- institucionální odpady (nemocnice, laboratoře, průmysl, ÚJV Řež)
- těžba a úprava uranových rud (včetně sanace uzavřených dolů - Dolní Rožínka, poslední důl v EU)



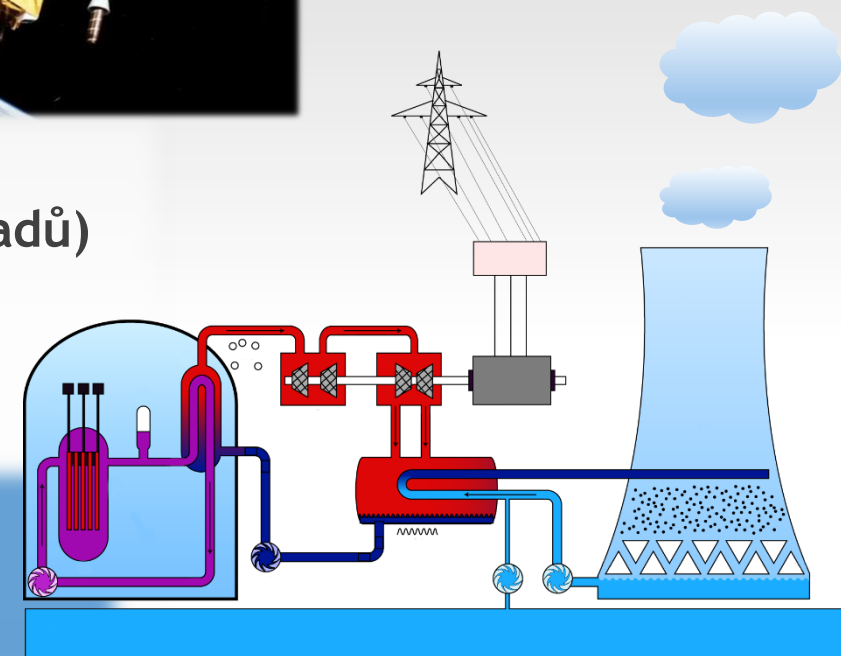
Snaha:

- snížit množství odpadů
- změnit složení odpadů
- odstranit radionuklidy

nová technologie ?!



radiační ochrana: ČAS, VZDÁLENOST, STÍNĚNÍ



- transmutace ADTT, hybridní reaktory
- přepracování VJP



- ukládání RAO a VJP

Kategorie radionuklidů

vysoká

střední

významná/nízká

nevýznamná

Kategorie RAO

I. VAO

II. SAO

III. NAO

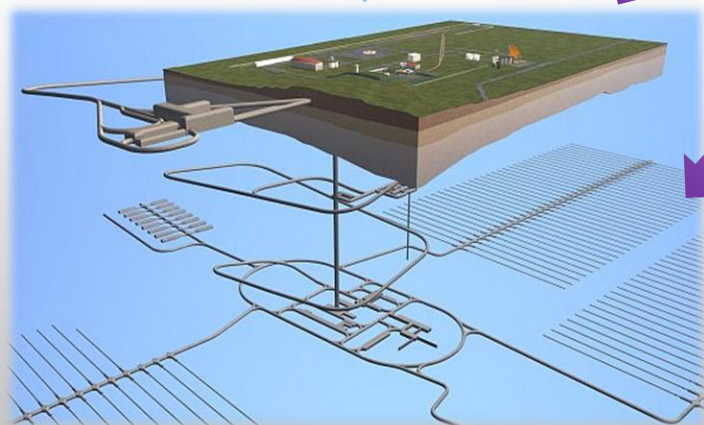
IV. SAO

V. NAO

koncentrace radionuklidů

dlouhodobé radionuklidy

produkce tepla



Hlubinné ukládání

×

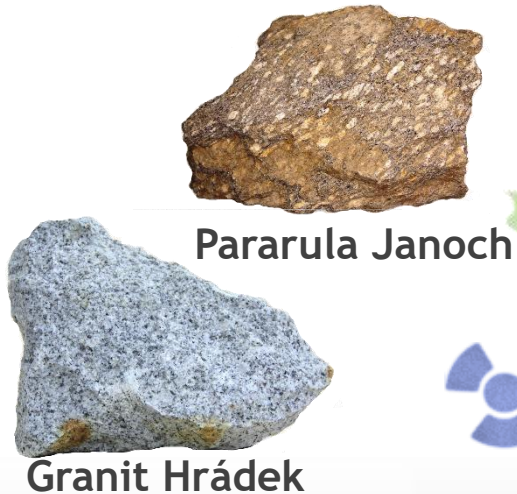
Pří/povrchové ukládání



Úložiště

2024 - zúžení výběru na 4 lokality

do 2030 - výběr hlavní a záložní lokality



Taxonomie - JE jako
bezemisní zdroj

2050 - počátek provozu HÚ
(původně 2065)



Durbachit Horka

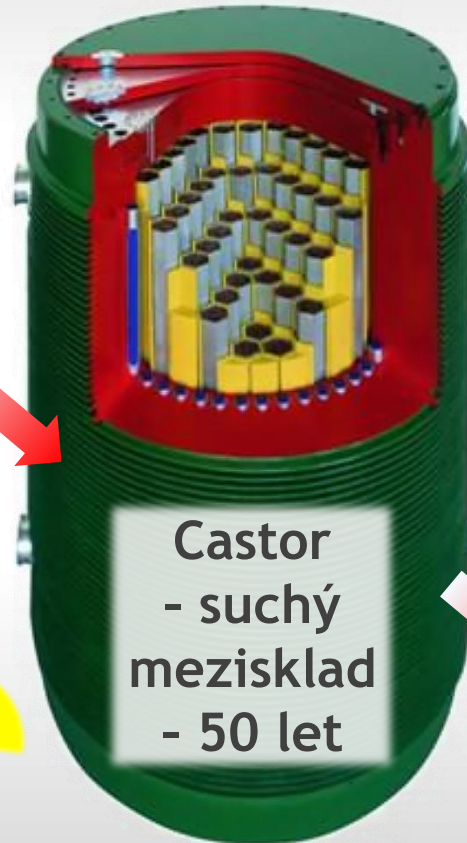


Český koncept hlubinného ukládání - osud VJP

VJP po vyjmutí
z reaktoru, po konci
kampaně



5 let chlazení
v bazénech



Castor
- suchý
mezisklad
- 50 let

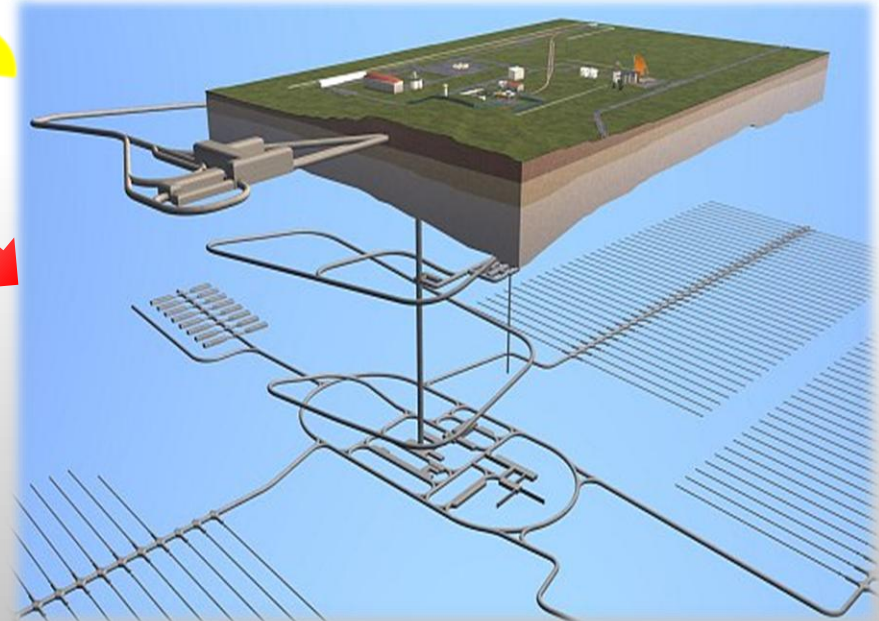
transportní a skladovací obal
Cu - nerez - uhlíkatá ocel
životnost 500-1000 let



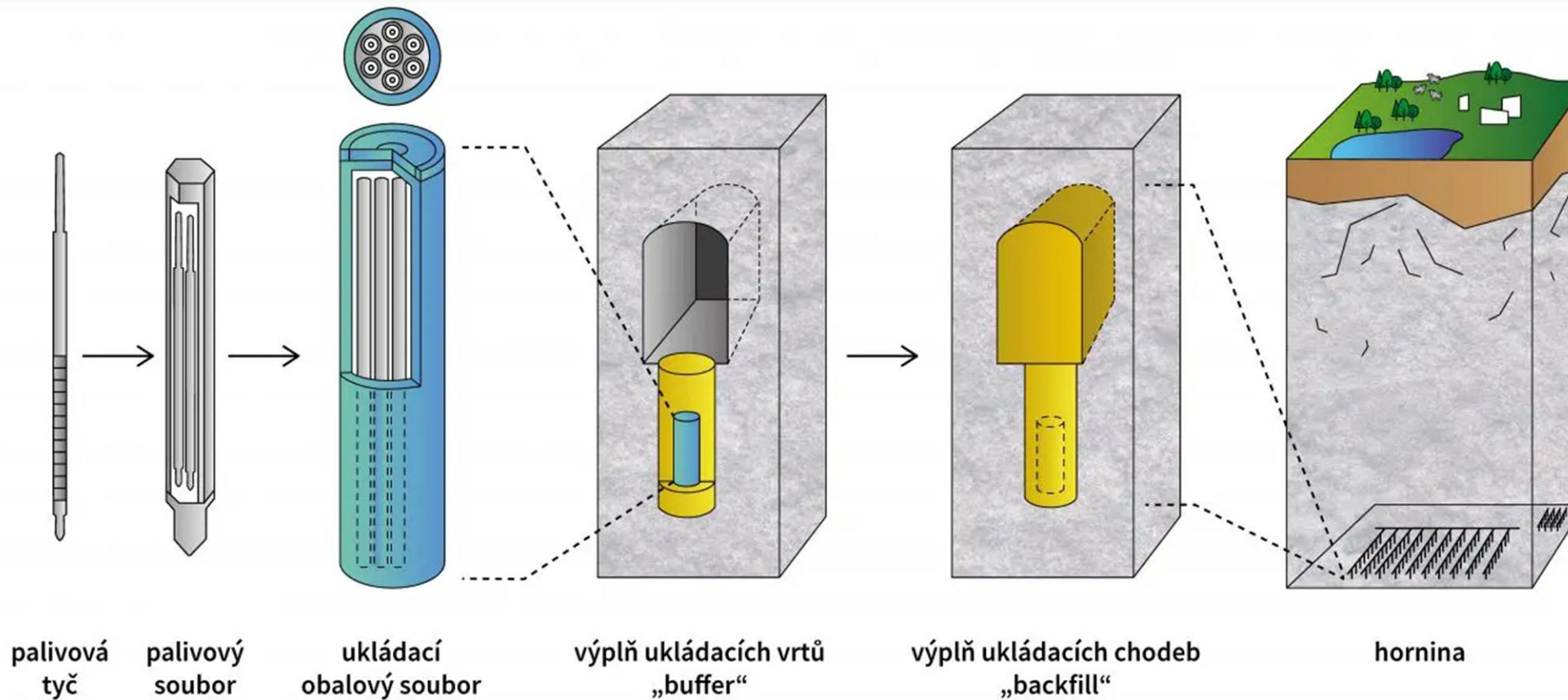
UOS



Hlubinné úložiště HÚ - analogie
švédského a finského konceptu



Multibariérový princip



Bentonit



Hydraulická pojiva na bázi cementů



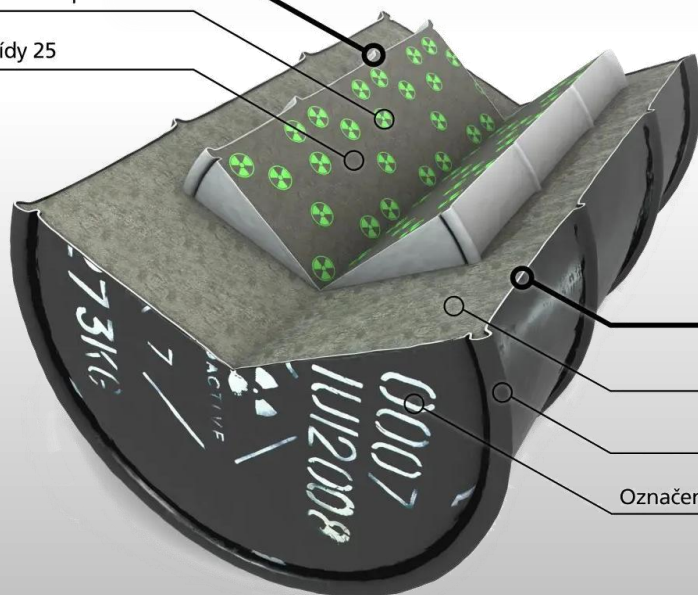
Přípovrchová úložiště

- solidifikace - cementace
- fixace sudu se solidifikovaným odpadem ve vnějším sudu
- výplň komor se sudy
- konstrukční prvky

Sud 100 I

Radioaktivní odpad

Beton třídy 25



Sud 200 I

Beton třídy 28

Ochranný nátěr

Označení obalové jednotky

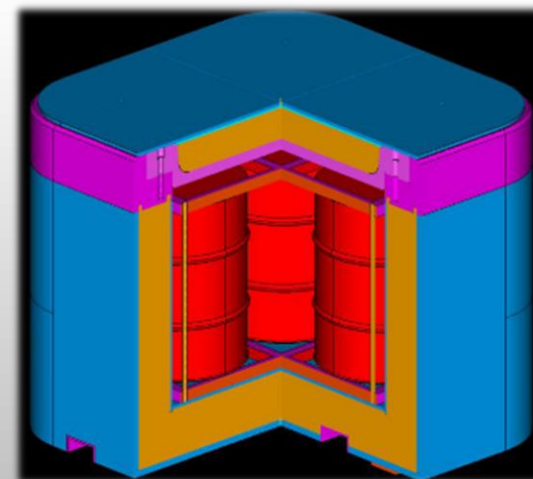
Hlubinné úložiště

- konstrukční prvky
- inženýrské bariéry v části HÚ pro ukládání RAO, nikoliv VJP
- beton-kontejner, možná výplň komor
- cementace RAO z provozu HÚ
- ocelovo-betonová zátka

×

velmi alkalické pH hydratované cementové pasty negativně ovlivňuje vlastnosti bentonitu

Betonkontejner

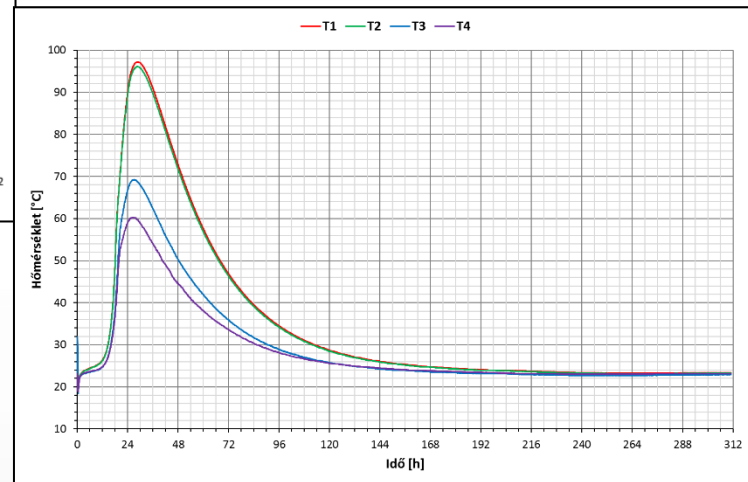
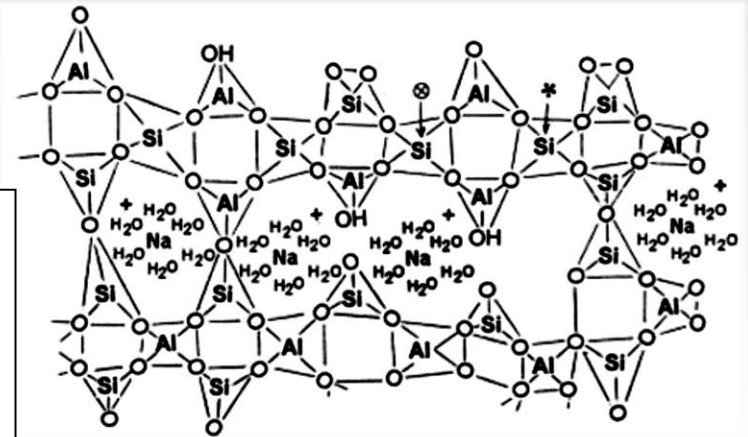
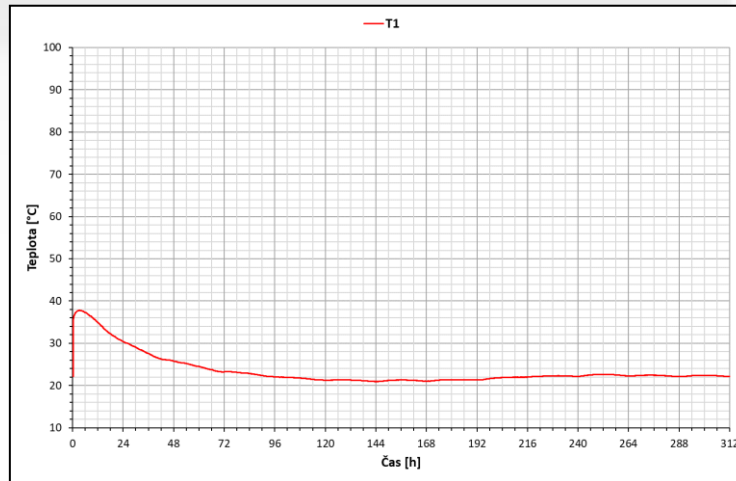
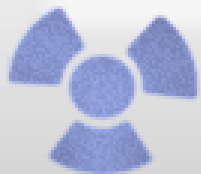




Geopolymery

alkalicky aktivované aluminosilikáty

- vysoké pevnosti v tlaku
- bez volného CaO
- odolné vůči působení roztoků minerálních solí SO_4^{2-} , Mg^{2+}
- ohnivzdorné (snášejí teploty nad 400°C)
- dlouhověkost a schopnost samozhojení trhlin - v dlouhodobém horizontu dochází stále k nárůstu pevnosti
- tolerance jílových podílů, boritanů, detergentů a olejů



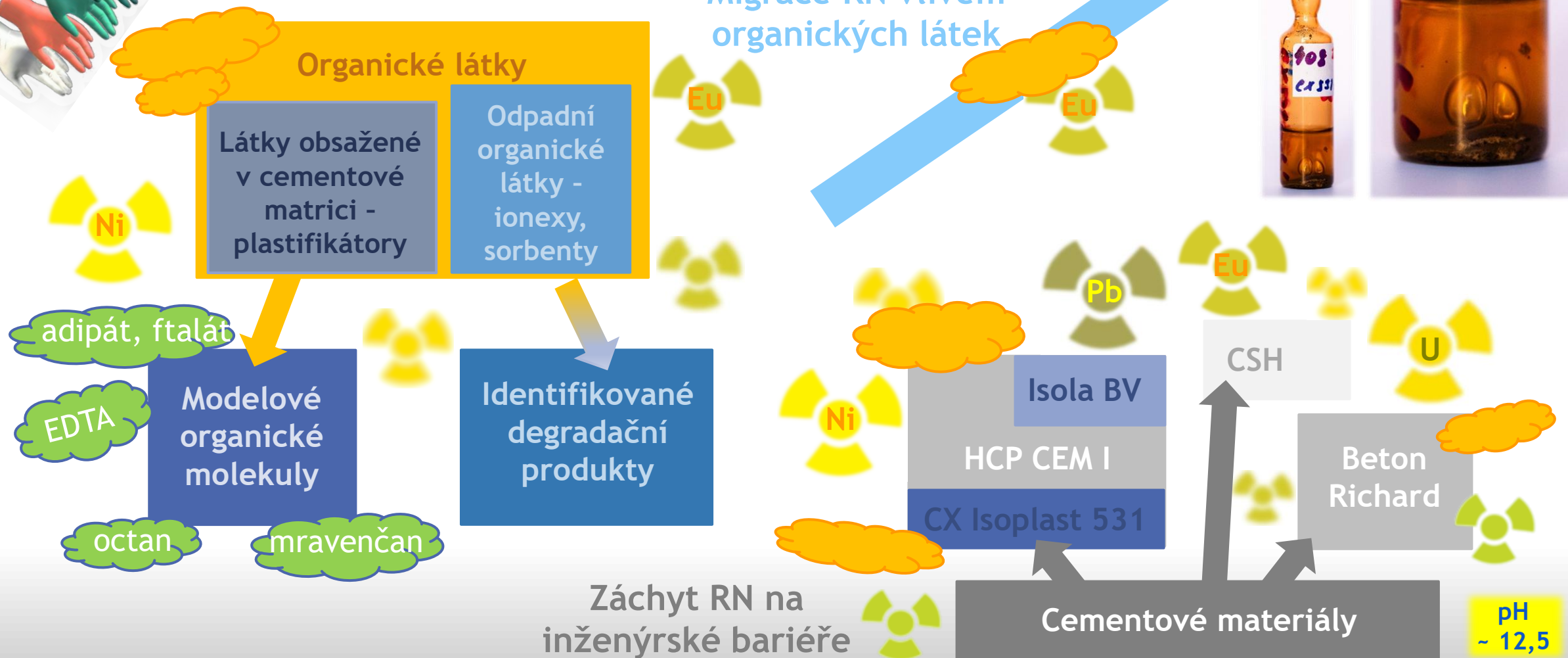
- Vysoká záchytná schopnost pro RN ve formě kationtů
- Nízký vývoj hydratačního (reakčního) tepla
- Nízká schopnost vázat anionty

×

EURAD WP3 CORI

Cement Organics Radionuclide Interaction

Migrace RN vlivem
organických látek



EURAD-2 WP7 L' OPERA

LOng Term PERformance of Waste Matrices

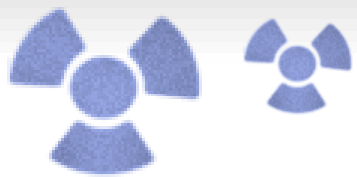
Task 4: čerstvý geopolymerní materiál, 5 let starý materiál GP skladovaný ve vodě za laboratorních podmínek a 17 let starý materiál GP skladovaný v podzemních vodách za přirozených podmínek

Task 5: nové matrice/odpadní formy (funkčnost, stabilita, dlouhodobé chování) s důrazem na jejich stárnutí; inkorporace a loužení simulovaných odpadů

úzká spolupráce s ÚJV Řež, a.s. a s Centrum výzkumu Řež, s.r.o.

Hodnocení bezpečnosti ÚRAO Dukovany, hodnocení bezpečnosti HÚ sekce SAO při pravděpodobném použití GP jako matrice





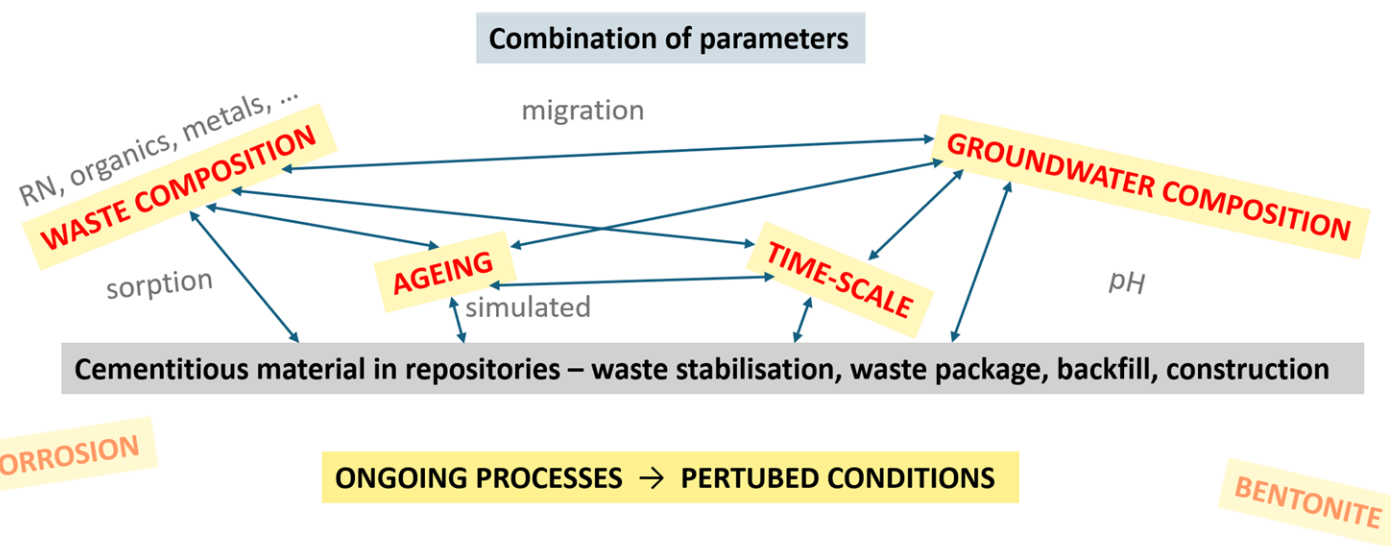
EURAD-2 WP12 RAMPEC

Radionuclide Mobility under Perturbed Conditions

Subtask 3.3: alterované cementové materiály s důrazem na vliv změn iontové síly (sírany, dusičnany) a stupně nasycení

cca. 20 let staré hydratované cementové pasty CEM I (ÚRAO Richard, Bratrství), laboratorně otařené HCP CEM I; výběr RN; sorpce

úzká spolupráce s ÚJV Řež, a.s.



Old samples – 2006 – underground repository Bratrství – complete data

Prohloubení znalostí o chování RN za nerovnovážných podmínek v prostředí HÚ (zejména pro sekci SAO)

EURAD-2 WP14 SUDOKU

Near-**S**urface **D**isposal **O**ptimization Based on **K**nowledge and **U**nderstanding

Task 3.1 a 4:

cementové materiály, asfaltové těsnění, materiály jílových a dalších těsnících vrstev

dlouhodobé interakční a degradační procesy mezi bariérovými materiály

ověření funkčnosti vrstev pokrytí po uzavření povrchového úložiště

vliv evoluce CMH cementových materiálů a produktů koroze oceli na migraci RN

řešení v úzké spolupráci s ÚJV Řež, a.s.



Zaměření na systém pokrytí povrchového úložiště - význam pro ÚRAO Dukovany

Joint 6th International Workshop on Mechanisms and Modelling of Waste/Cement Interactions

JCCW 2023

Monday, 20 November 2023 - Friday, 24 November 2023 Prague



- **Cement Chemistry & Microstructure**
Modelling, multiscale-approaches, alternative cements
- **Cement/Rock/Soil Interfaces and Transport**
Cement / host rock, transport processes and modelling
- **Interaction of Cement with Waste Constituents**
Radioactive waste, toxic waste, metal binding mechanisms, organic compounds
- **Nanoscale Characterisation & Molecular Dynamics**
Methods at large scale facilities, advanced methods
- **Deterioration and Leaching**
Alkali-aggregate reaction, carbonation, sulfate interaction, ageing process, natural analogues



International Steering Committee

Celine Cau-dit-Caumes CEA, F
Bernd Grambow Subatech, F
Diederick Jacques SCK.CEN, B
David Kosson Vanderbilt University, USA
Barbara Lothenbach Empa, CH
Volker Metz KIT, D
John Provis University of Sheffield, UK
Erich Wieland Paul Scherrer Institut, CH



Organizing Committee

Barbora Drtinová CTU, CZ
Jan Kozempel CTU, CZ
Petr Večerník ÚJV, CZ
Radek Vašíček CTU, CZ
Zbyněk Hlaváč CVŘež, CZ
Zdena Lahodová SÚRAO, CZ

Děkuji za pozornost !



Fotografie a obrázky bez uvedeného autora jsou buď moje nebo stažené ze stránek SÚRAO.