

## Oblasti vlivu mikroorganismů na hlubinné úložiště radioaktivních odpadů

Ing. Petr Polívka, RNDr. Alena Ševců, Ph.D.  
19.března 2015

Centrum výzkumu Řež s.r.o.  
Technická universita v Liberci

## ODPADOVÉ FÓRUM 2015

Výsledky výzkumu a vývoje pro odpadové hospodářství  
10.ročník česko-slovenského symposia  
18.-20.března 2015 Hustopeče u Brna



- Všeobecně přijímaným konceptem pro zneškodňování vysokoaktivních odpadů HLW je ukládání **v geologicky stabilních formacích**, například v žulovém masivu nebo jílové formaci. Konstrukce hlubinného úložiště (HÚ) zahrnuje systém multi bariér z různých materiálů

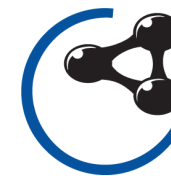
- kontejner [ocel, měď]
- výplně a zásyp z bentonitu
- zátka a konstrukce z betonu
- horninové prostředí

které by měly díky svým vlastnostem zajistit vysokou odolnost a bezpečnost v dlouhodobém období ( $10^4$  až  $10^6$  let). Při budování HÚ se nicméně nebude možné vyvarovat proniknutí jak povrchové tak krystalinické vody, která s sebou přinese i určitý obsah živin a všudypřítomné mikroorganismy, případně bude aktivovat



mikroorganismy vnesené již při konstrukci HÚ.

# Ukládací OS



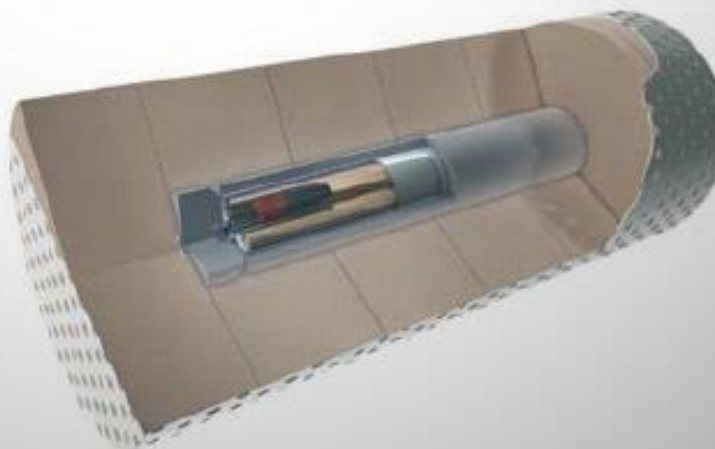
PALIVOVÉ ČLÁNKY



KOVOVÉ UKLÁDACÍ  
KONTEJNERY



BENTONITOVÝ  
OBAL





- **Multidisciplinární problematika** pro klíčové technické problémy, které je třeba vyřešit na podporu provádění plánovaných geologických projektů na likvidaci radioaktivních odpadů (RAO) v celé EU – viz. nový projekt MIND (Microbiology In Nuclear waste Disposal). Současné chápání dopadů mikrobiálního (MB) metabolismu na bezpečnost geologických úložišť zůstává otevřená, protože mikroorganismy mohou mít významný vliv na **vývoj forem odpadů** (v in situ prostředí), **integritu multibariér** a **na migraci radionuklidů z úložiště**.
- Důraz je kladen na určení a vyčíslení konkrétních měřitelných dopadů mikrobiální aktivity na bezpečnostní případy ukládání v podmínkách HÚ,
- a tím bude hodnocen dlouhodobý vývoj úložiště RAO.
- Je nutné určit úlohu vlivu MB procesů při nakládání s RAO v geologickém ukládání a samozřejmě dalších technologických oblastí, vztahujících se k využívání podzemních prostor.
- V oblasti MB vlivů v geologickém ukládání se předpokládá na mezinárodním poli, především EU (leaders) => **Výměna info – projekt MIND** (start červen 2015)



# Jaký je mikrobiální vliv na celé HÚ ?



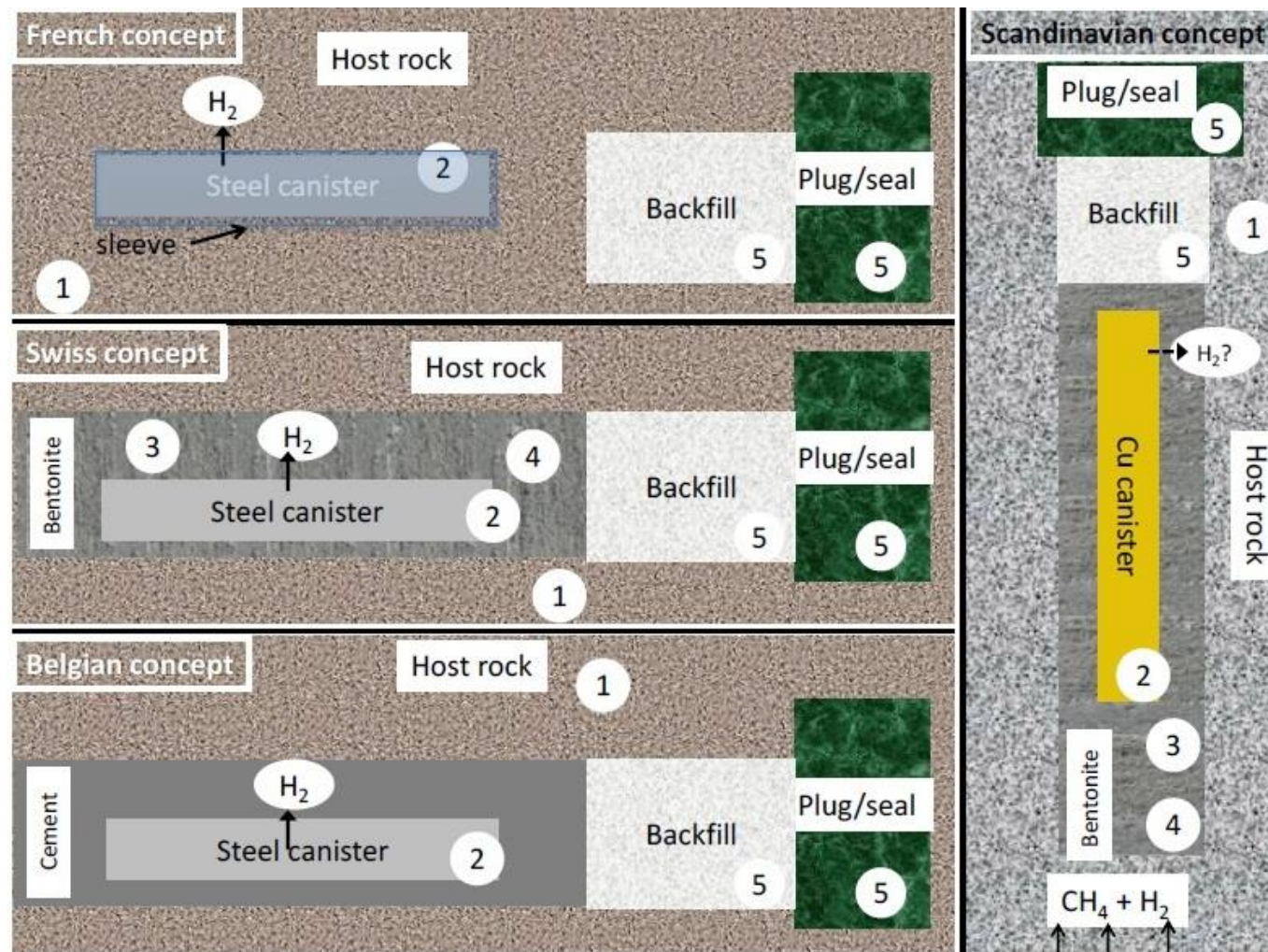
MB v HÚ budou v dostatečně dlouhém časovém období **narušovat stabilitu bariér** a **urychlovat korozi kontejnerů**. V anaerobních podmínkách se jedná zejména o **sulfát redukující** a **železo redukující bakterie**, které budou následně produkovat další metabolity a plyny. Tyto a další skupiny bakterií se budou vyskytovat v místech, kde bude alespoň minimální množství vody, živin a dostanou se do mikroprasklin vzniklých v bentonitu a betonu díky geologickému napětí.

V prvních 100-kách let od uzavření úložiště se nepředpokládá velký vliv mikroorganismů, protože v bentonitu pro ně nebudou vhodné podmínky (vysoký tlak a nízká saturace vodou). Jakmile ale začne teplota klesat pod 90 °C v blízkém poli kontejneru a dojde k určité saturaci bentonitu vodou, bude limitujícím faktorem zejména tlak.





# Reprezentativní evropské koncepty ukládání HLW



1 MB tvorba sulfidů v geosféře

2 MB indukovaná koroze kanystru

3 MB aktivita v bentonitu

4 MB degradace bentonitu

5 MB aktivita v zátce a zásypu





Vliv mikroorganismů lze rozdělit podle oblastí působení na dvě základní oblasti a to na **blízké a vzdálené pole**. Pokud se zaměříme na mikroorganismy přímo v úložišti blízko obalových souborů, je nutné uvažovat, jaké budou účinky např.:

- Vlivu záření na mikroorganismy
- Vlivu teploty a vodní aktivity
- Vlivu dostupnosti živin pro mikroorganismy
- Vliv MB na korozní procesy
- Účinek bobtnacího tlaku, velikosti pórů a salinita prostředí

Non-salinní vody do  $500 \text{ mg.l}^{-1}$  vs salinní  $500\text{-}6500 \text{ mg.l}^{-1}$  (NaCl)  
 $\text{pH } 7 \leq \text{pH} \leq 9$  ,  $E_h \leq -200 \text{ mV}$  silně redukční prostředí





Pokud budeme sledovat hledisko vlivu mikrobů na EBS je nutné řešit především:

- Zdroje mikrobů a mikrobiální aktivity (podmínky)
- Vliv mikrobů na zásypový materiál (Na, Na-Ca bentonit)
- Mikrobiální vliv na produkci plynů
- Vliv mikrobů na propustnost bariér
- Vliv mikrobů na ukládací kontejner
- Vliv mikrobů na chování radionuklidů
- Vliv mikrobů na red-ox reakce radionuklidů
- Vliv mikrobů na migraci radionuklidů.

Ale existují další významné vlivy, mezi které může patřit problematika **přežití původních MB, aktivace spících nebo průnik nově vnesených mikroorganismů** do systému HÚ ve vzdálené budoucnosti – kvantifikace nejistot.







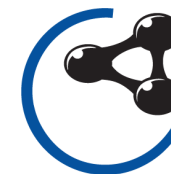
Aktivita mikroorganismů v blízkém poli má potenciál působit **mikrobiální vliv na korozi** a může způsobovat vývoj plynů či ovlivňovat migraci RN. Velká pozornost je zaměřena na schopnosti jílového těsnění inhibovat mikroorganismy a jejich aktivitu.

Předešlé výzkumy ukázaly, že čistý bentonit zhutněný na  $2000 \text{ kg.m}^{-3}$  (suchá hustota  $1600 \text{ kg. m}^{-3}$ ) je saturován vodou (přibližně na 26 hm.%), která má aktivitu okolo  $a_{\text{H}_2\text{O}} \sim 0,96$  a která je vhodná pro inhibici velké většiny bakterií, které mohou způsobit problémy v úložišti.

Dále je známo, že vodou nabitý bentonit zamezuje pohybu vody a nahradí v přírodě se vyskytující hydratované jílové matrice, které mají nízkou hydraulickou vodivost v řádech  $K \sim 10^{-12}$  až  $10^{-14} \text{ m.s}^{-1}$ . Toto může přímo **ovlivnit difuzi** živin potřebných mikroorganismy pro metabolickou aktivitu a **růst** případně i **difuzi** uvolněných RN.

Vzhledem k tomu, že průměrná velikost pórů jílu matrice je v řádově 100x menší než bakteriální buňky, je růst buněk a jejich pohyb také fyzicky omezen.





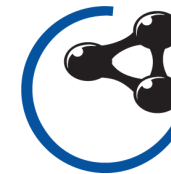
První koncepty ukládání byly založené na směsi písku a jílu, ale závěry ukázaly, že díky vlivu mikrobiálního chování je vhodné použít jen **100% bentonit**. Pro inhibici bakterií a vznik bakteriálních spor ve vysoce zhutnělém bentonitu bez písku apod. bylo zjištěno, že bentonity musí splňovat jedno nebo obě kritéria:


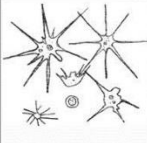

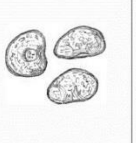


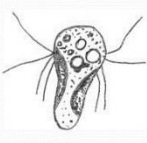
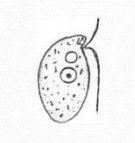
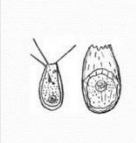
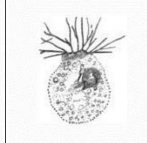
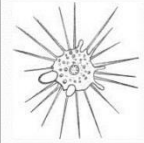
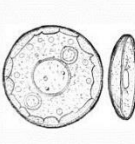
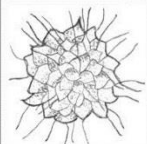
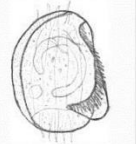
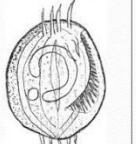
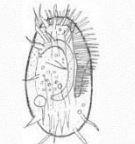

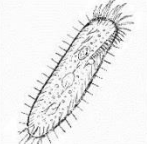



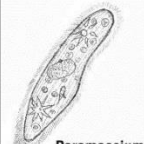







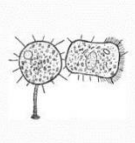
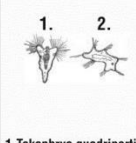

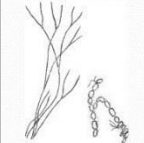




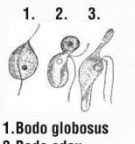
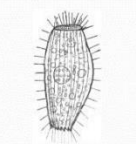
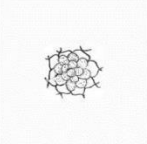
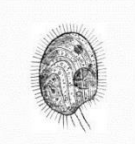
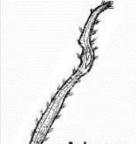







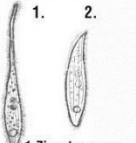


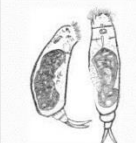



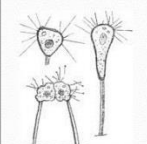




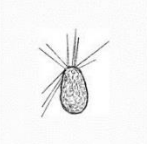
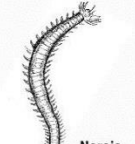
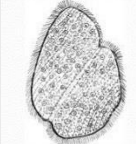
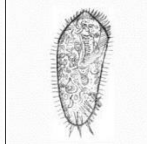
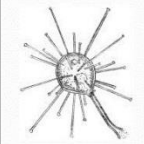
- 1) **Aktivita** ve vodě  $a_i \leq 0.96$  dosažená buď při hustotě suchého zhutnělého bentonitu  
kde  $\rho$  (Bentonit)  $< 1600 \text{ kg.m}^{-3}$  nebo kde salinita pórové vody jako NaCl  
bude  $C$  (NaCl)  $> 60 \text{ g.l}^{-1}$  ( $c \sim 1\text{M}$ )
- 2) **Bobtnací tlak** musí dosahovat nejméně  $P > 2 \text{ MPa}$ .

Předpokladem je splnění podmínek **v celém systému HÚ**. Vzhledem k všudypřítomnosti mikroorganismů je hodnocení jejich působení na EBS důležité uvažovat ve všech částech HÚ a to především v dlouhodobém časovém horizontu. Základním předpokladem je určit a omezit příznivé podmínky pro vliv mikroorganismů na HÚ.



# Zástupci MB společenstev

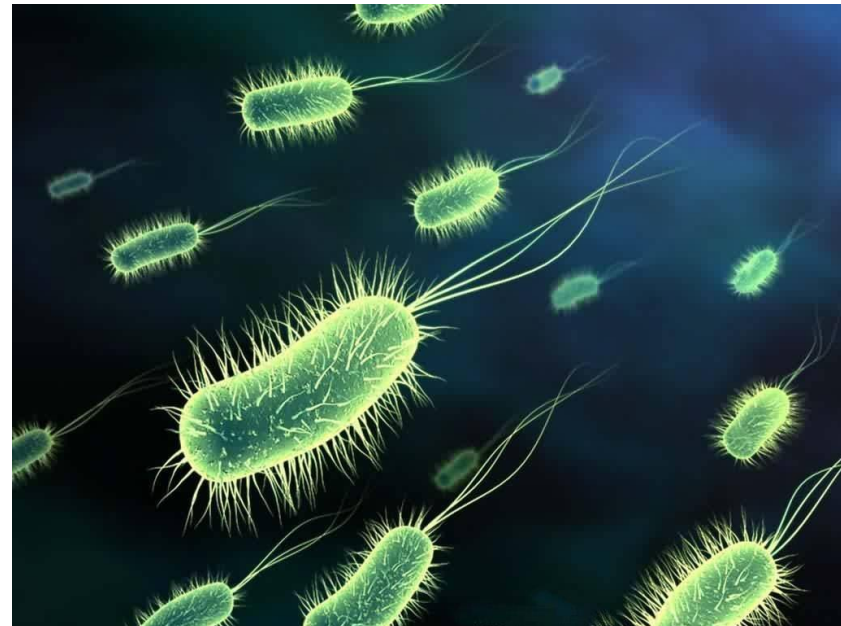
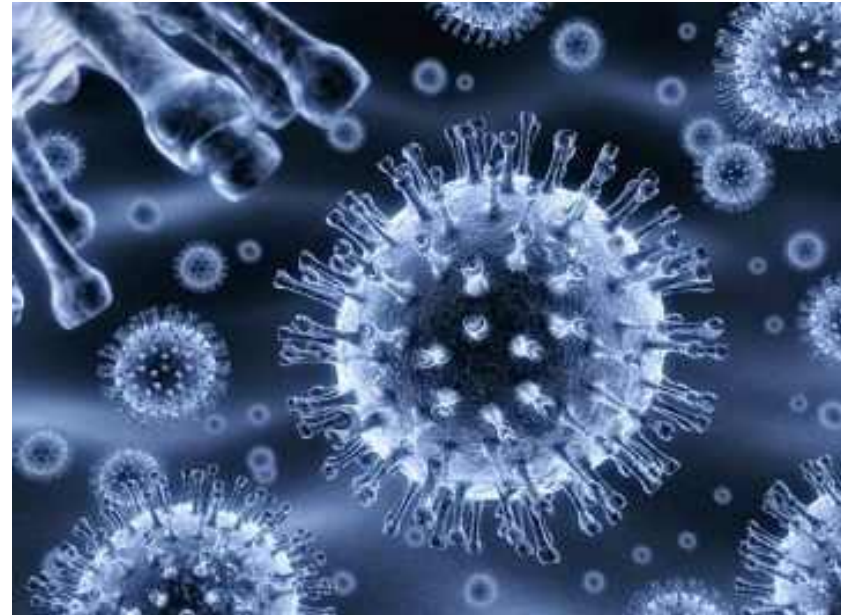


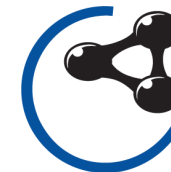
 <b>Amoeba limax</b>	 <b>Amoeba radiosa</b>	 <b>Amoeba diploida</b>	 <b>Centropyxis laevigata</b>	 <b>Diffugia molesta</b>	 <b>Centropyxis aculeata</b>	 <b>Trepomonas steini</b>	 <b>Bodo</b>	 <b>Euglupha laevis</b>	 <b>Pamphagus hyalinus</b>	 <b>Actinophrys vesicular</b>
 <b>Arcella discoides</b>	 <b>Oicomonas socialis</b>	 <b>Aspidisca costata</b>	 <b>Aspidisca turrida</b>	 <b>Euplotes charon</b>	 <b>Euplotes patella</b>	 <b>Oxytricha pellionella</b>	 <b>Stylonychia pustulata</b>	 <b>Ciclidium claucoma</b>	 <b>Colpoda steini</b>	 <b>Paramecium caudatum</b>
 <b>Rhabdostyla ovum</b>	 <b>Vorticella alba</b>	 <b>Vorticella microstoma</b>	 <b>Vorticella convallaria</b>	 <b>Opercularia coarctata</b>	 <b>Carchesium spectabile</b>	 <b>Opercularia glomerata</b>	 <b>Podophrya fixa</b>	 <b>1. Tokophrya quadripartita 2. Trichophrya epistilis</b>	 <b>Sphaerotilus natans</b>	 <b>Cladotrich dichotoma</b>
 <b>Beggiatoa alba</b>	 <b>Thiothrix nivea</b>	 <b>Zooglea ramigera</b>	 <b>Oikomonas mutabilis</b>	 <b>1. Bodo globosus 2. Bodo edax 3. Bodo caudatus</b>	 <b>Coleps uncinatus</b>	 <b>Synura iwella</b>	 <b>Cinetochilum</b>	 <b>Aelosoma tenebrarum</b>	 <b>Aelosoma</b>	 <b>Nematoda</b>
 <b>Carchesium polypinum</b>	 <b>Colpidium colpoda</b>	 <b>Arcella vulgaris</b>	 <b>Amoeba proteus</b>	 <b>Amphileptus carchesu</b>	 <b>1. Zionotus anser 2. Zionotus lamella</b>	 <b>Rotathria marcoceria</b>	 <b>Philodina megalotrocha</b>	 <b>Notommata ansata</b>	 <b>Cathypa luna</b>	 <b>Callidina vorax</b>
 <b>Epistylis plicatilis</b>	 <b>Tocophrya lemnaeum</b>	 <b>Akineta flava</b>	 <b>Инфузория-суевоика Vorticella</b>	 <b>Инфузория-трубач Stentor</b>	 <b>Brachionus</b>	 <b>Euglupha alveolata</b>	 <b>Nereis pelagica</b>	 <b>Opalina</b>	 <b>Stylonychia mytilus</b>	 <b>Podophrya collini</b>





# Zástupci MB společenstev





Tato práce je finančně podporována projektem SUSEN CZ.1.05/2.1.00/03.0108 realizovaného v rámci ERDF. Některé prezentované informace byly z projektu MIND (Microbiology In Nuclear waste Disposal, grant agreement No. 661880).

Děkuji za pozornost !

**[www.susen2020.cz](http://www.susen2020.cz)**

