

# Je uložení radioaktivních odpadů do horninového prostředí bezpečné?

Co víme o chování radioaktivních a dalších prvků v horninách

Josef Zeman

Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologických věd  
Brno

# „Vyhořelé“ jaderné palivo

vysoce aktivní radioaktivní odpad (HLW – high level waste)

- štěpné produkty zůstávají především součástí  $\text{UO}_2$
- 3 % tvoří štěpné produkty  $^{235}\text{U}$  a  $^{239}\text{Pu}$
- všechny prvky od Zn až po lanthanidy
- nejvýznačnější dvě skupiny
  - Zr, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag
  - I, Xe, Cs, Ba, La, Ce, Nd
- středně až dlouhodobé:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$



Kazeta čerstvého jaderného paliva společnosti TVEL,  
používaná v jaderné elektrárně Temelín  
(Z továrny na výrobu paliva MSZ – Mashinostroitelny zavod)

# Uložení

Několik desítek let přímo v elektrárnách

- JED – 40 let – 1 940 t
- JET – 40 let – 1 790 t

Na dobu 100 tis. až 1 mil. let

- sklad?
- přírodní prostředí



Skladovací kontejnery CASTOR v meziskladu použitého jaderného paliva v jaderné elektrárně Dukovany  
(Zdroj: ČEZ, foto: Jan Sucharda)

# Uložení do přírodního prostředí

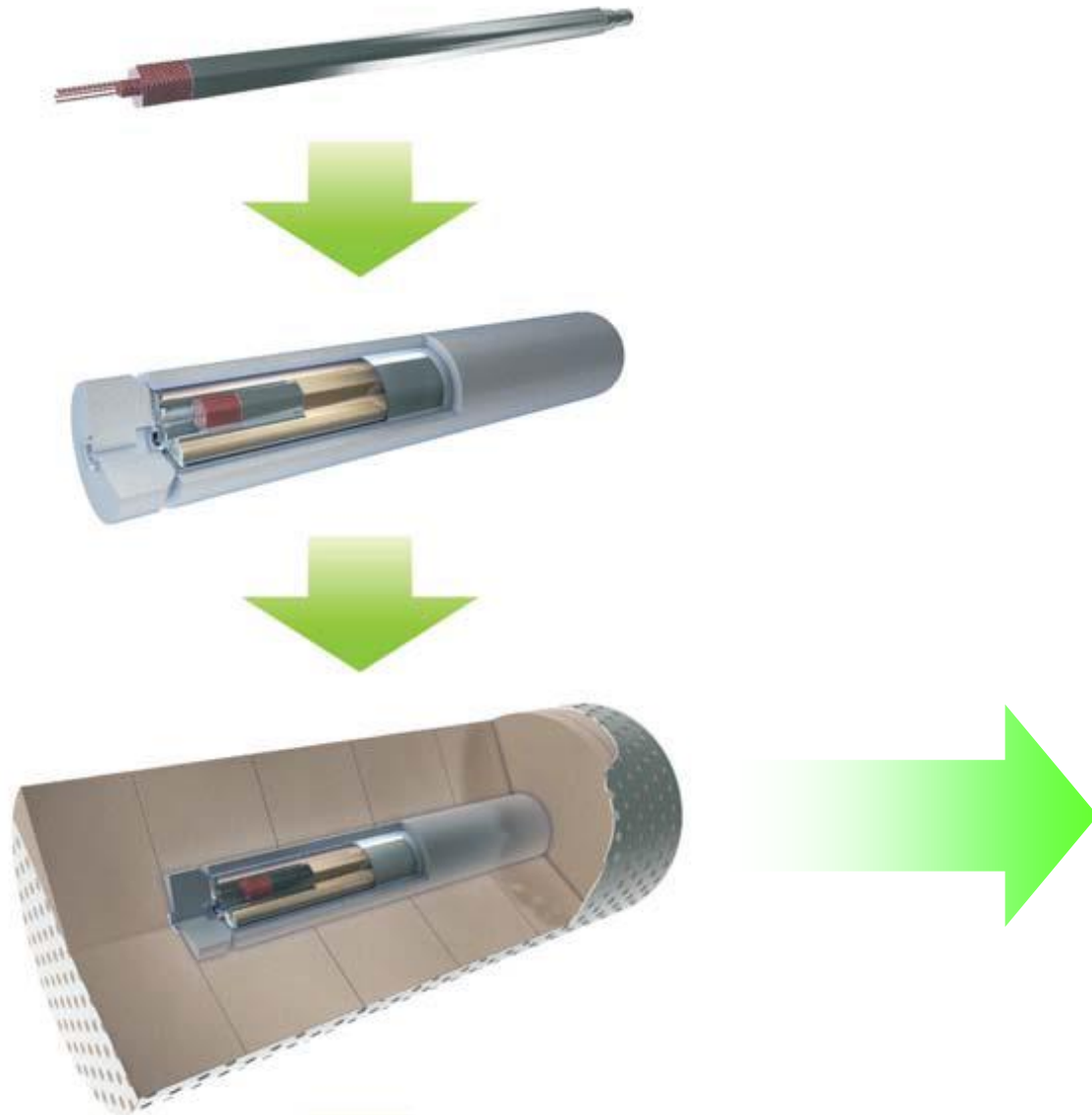
Zamezit migraci lze

- nepřítomností vody
- zabráněním mechanickému porušení

Uložení musí chránit před radiací

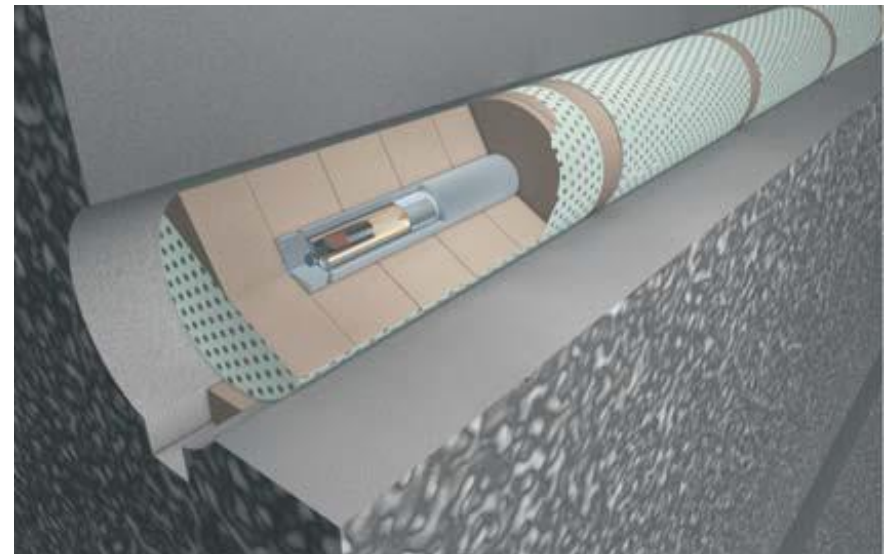
- sklad?
- přírodní prostředí

# Uložení do přírodního prostředí

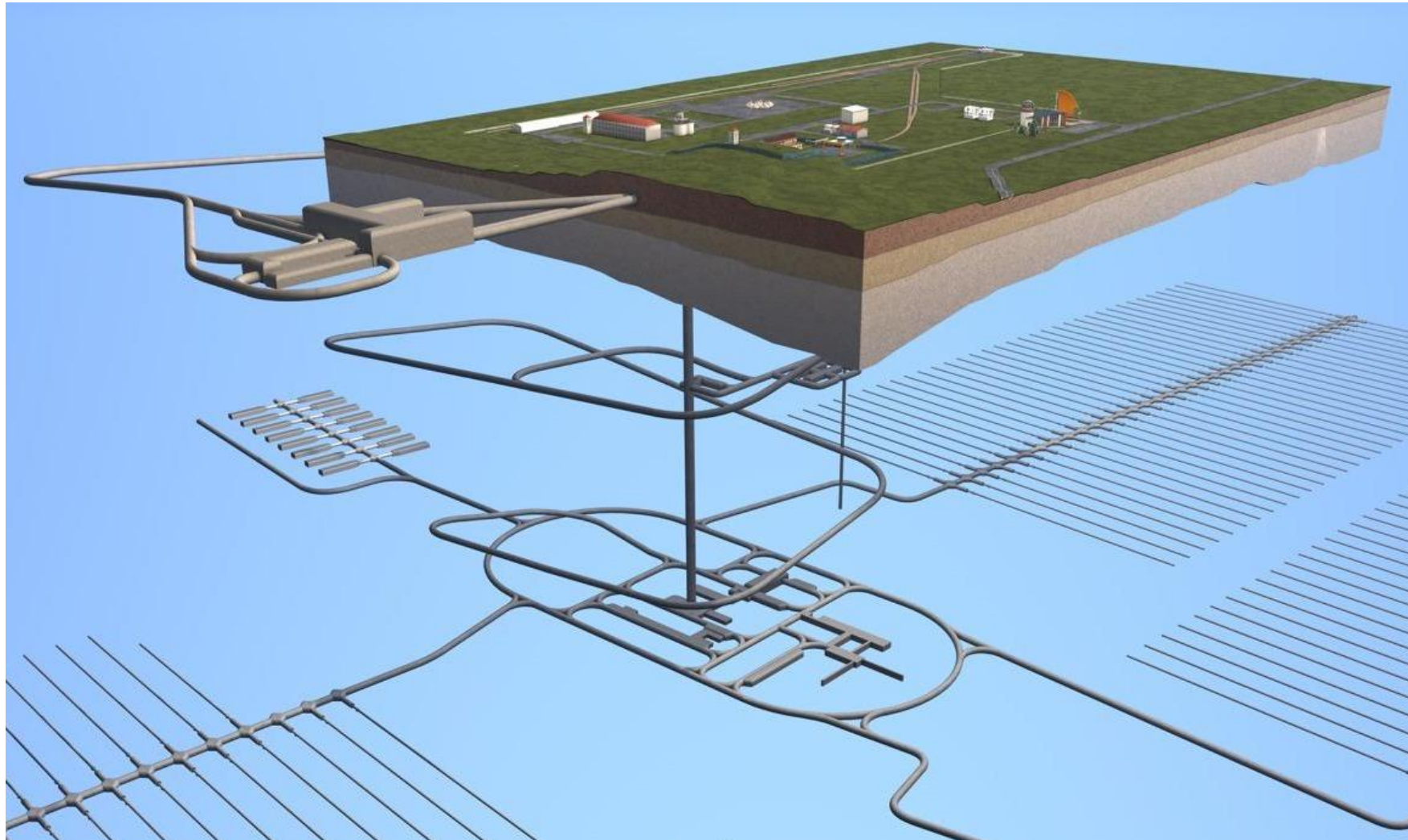


## Kombinace

- palivový článek
- kovový kontejner
- bentonitové těsnění
- přírodní bariéra



# Uložení do přírodního prostředí



# Situace v zahraničí

- Švédsko – žula (Forsmark schváleno)
- Finsko – žula (Olkiluoto schváleno)
- USA – tuf (Yucca Mountain) – zastaveno v r. 2010
- Francie – jíly (Cigéo schváleno)
- Švýcarsko – výběr ze šesti lokalit
- Japonsko – výběr lokalit
- Belgie – (Boom clay?)
- Španělsko – žula, jíly, solné formace?
- Nizozemsko – přechodné skladování 100 let



Švédské Äspö –  
zázemí areálu  
podzemní  
laboratoře  
(Zdroj: SKB; fotograf: Curt-Robert Lindqvist)

Geologický průzkum v  
podzemní laboratoři  
Onkalo ve Finsku  
(Zdroj: Posiva; fotograf: Jussi Partanen)



Ve všech zemích vybudovány hlubinné podzemní výzkumné laboratoře.

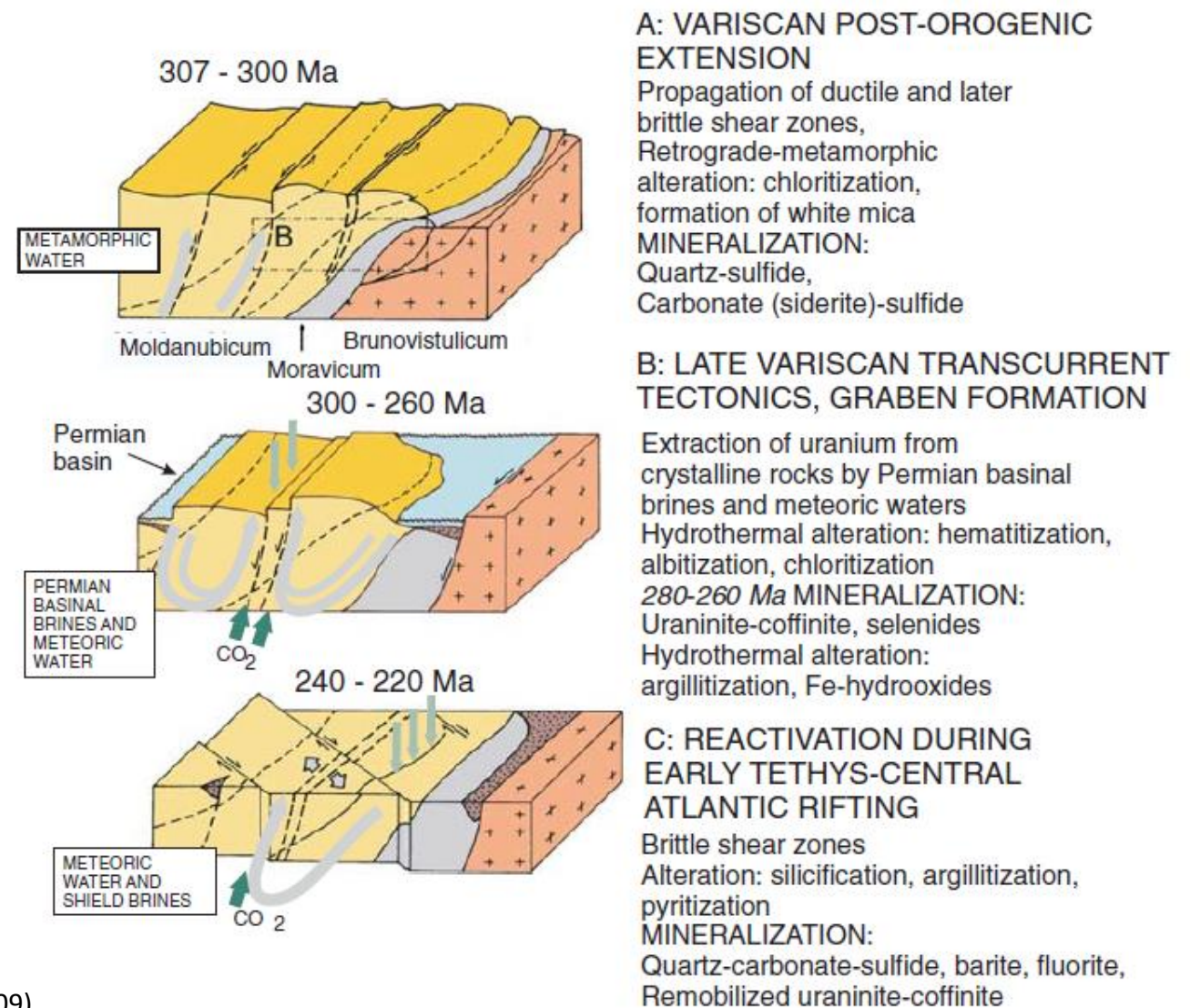
# Je třeba odpovědět na klíčové otázky

- Jak se chovají radioaktivní prvky v horninách (U a další)?
- Jaký bude vliv horninového prostředí na materiály úložiště?
- Mohou se radioaktivní prvky uvolnit?
- Co by se s nimi stalo?



# Jak se chovají radioaktivní prvky v horninách

- hlavní část zemské kůry je tvořena stabilními silikáty
- kovy vázány především v podobě oxidů a silikátů
- jejich uvolňování v oxidačních podmínkách (kontakt s atmosférou)
- stabilita či záchyt v redukčních podmínkách (bez kontaktu s atmosférou)



# Jaký bude vliv horninového prostředí na materiály úložiště?

Stabilita materiálů – známe jen po omezenou dobu

- železo – doba železná, zhruba 14 000 let
- měď – doba měděná (eneolit) zhruba 7 000 let
- beton – přírodní hydraulický cement (puccolan), zhruba 2000 let
- bentonit – přeměna, interakce s podzemní vodou, koloidy – miliony let



<https://es.wikipedia.org/wiki/Corrosi%C3%B3n> (2015)

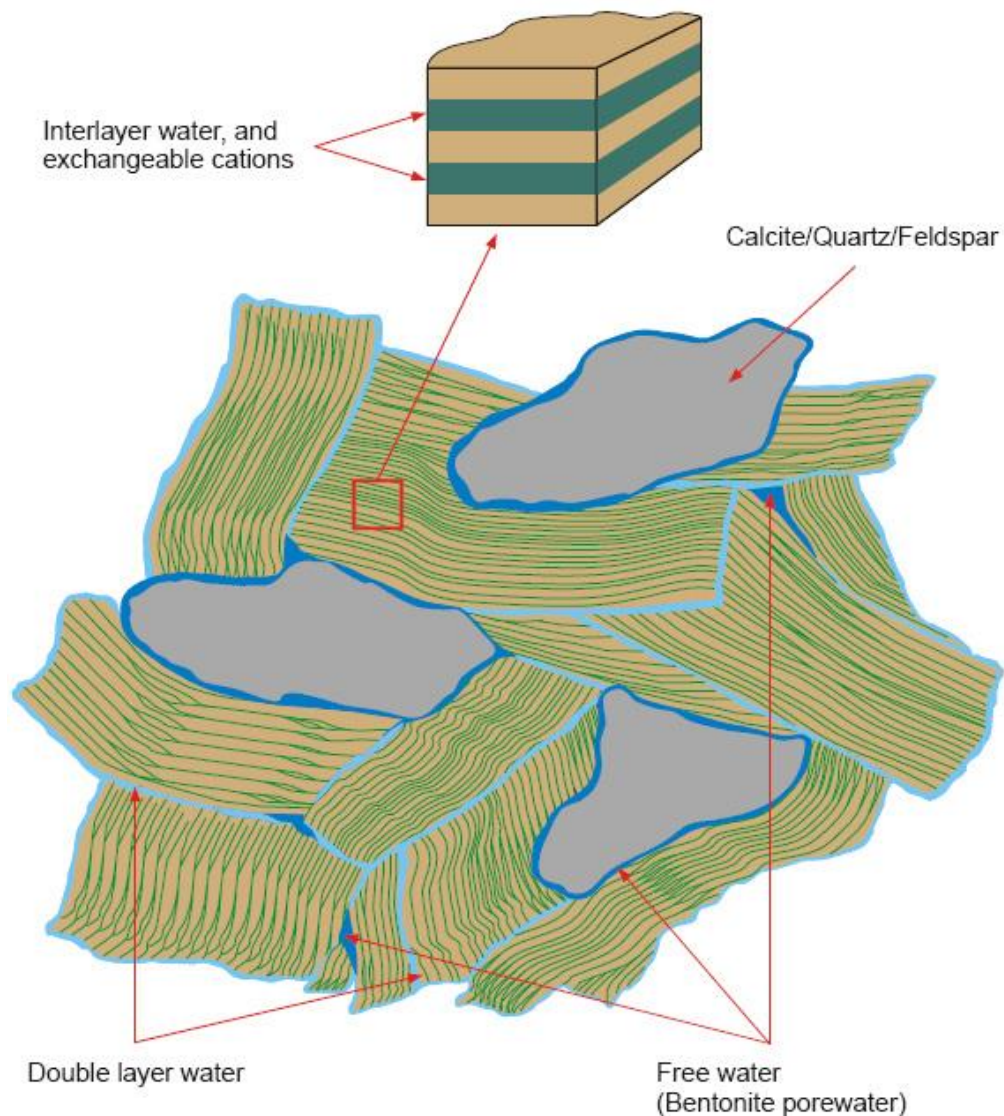


The UV-curable coatings are designed for corrosion protection Source: artSILENSEcom - Fotolia.com (2015)

# Mohou se radioaktivní prvky uvolnit?

## Bentonit

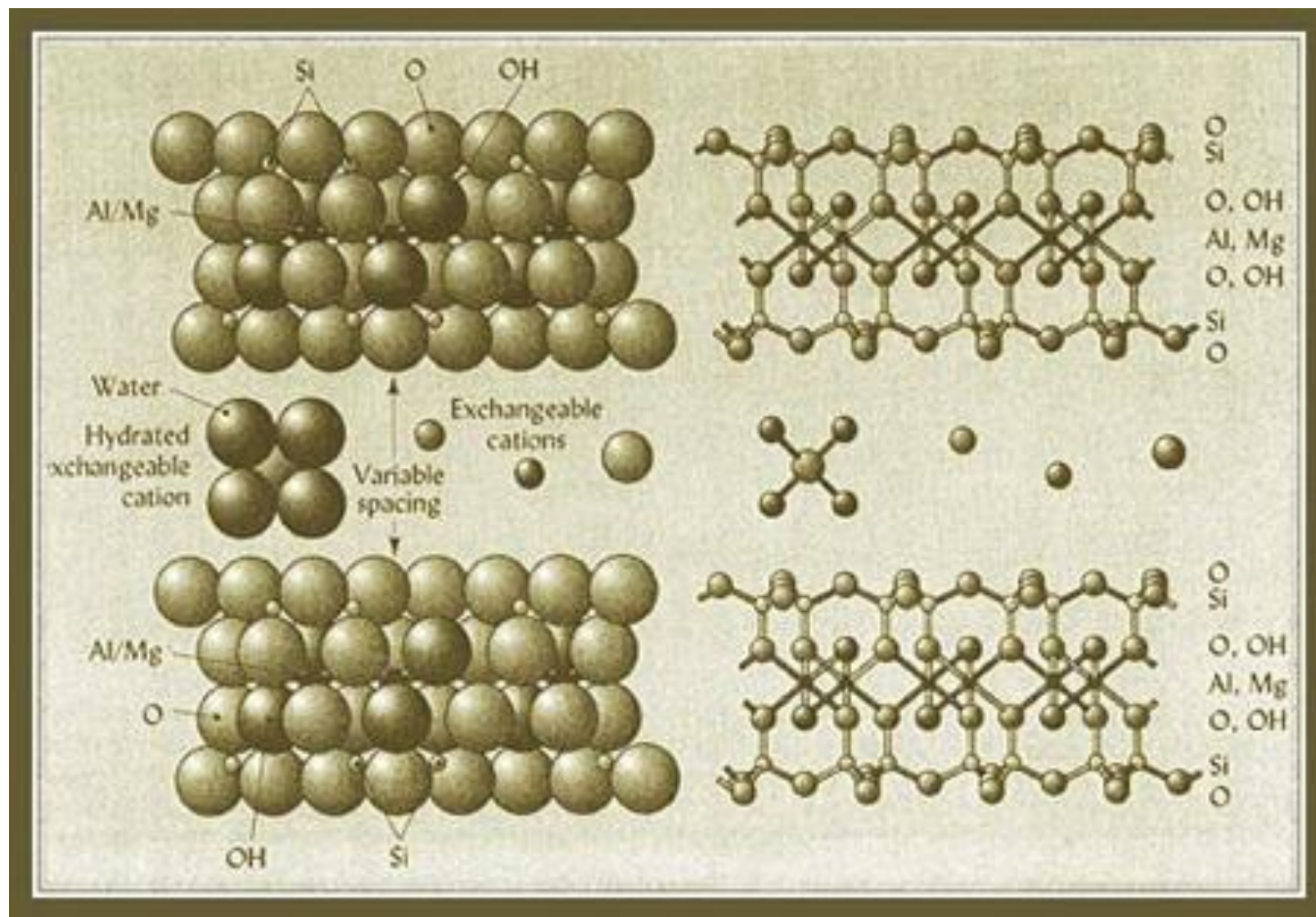
- montmorillonit hlavním minerálem
- bobtnání
- sorpce



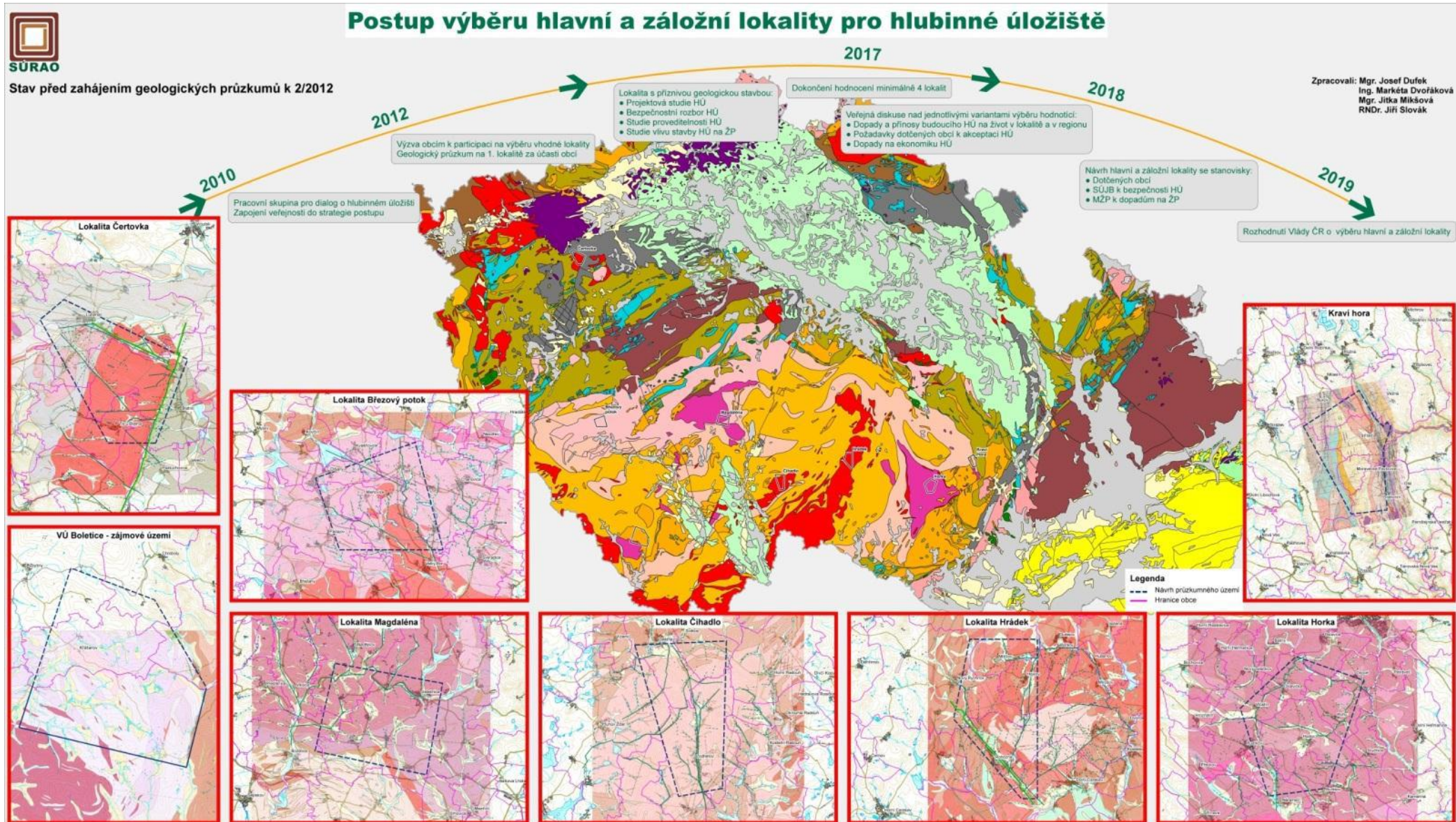
# Co by se s nimi stalo?

montmorillonit

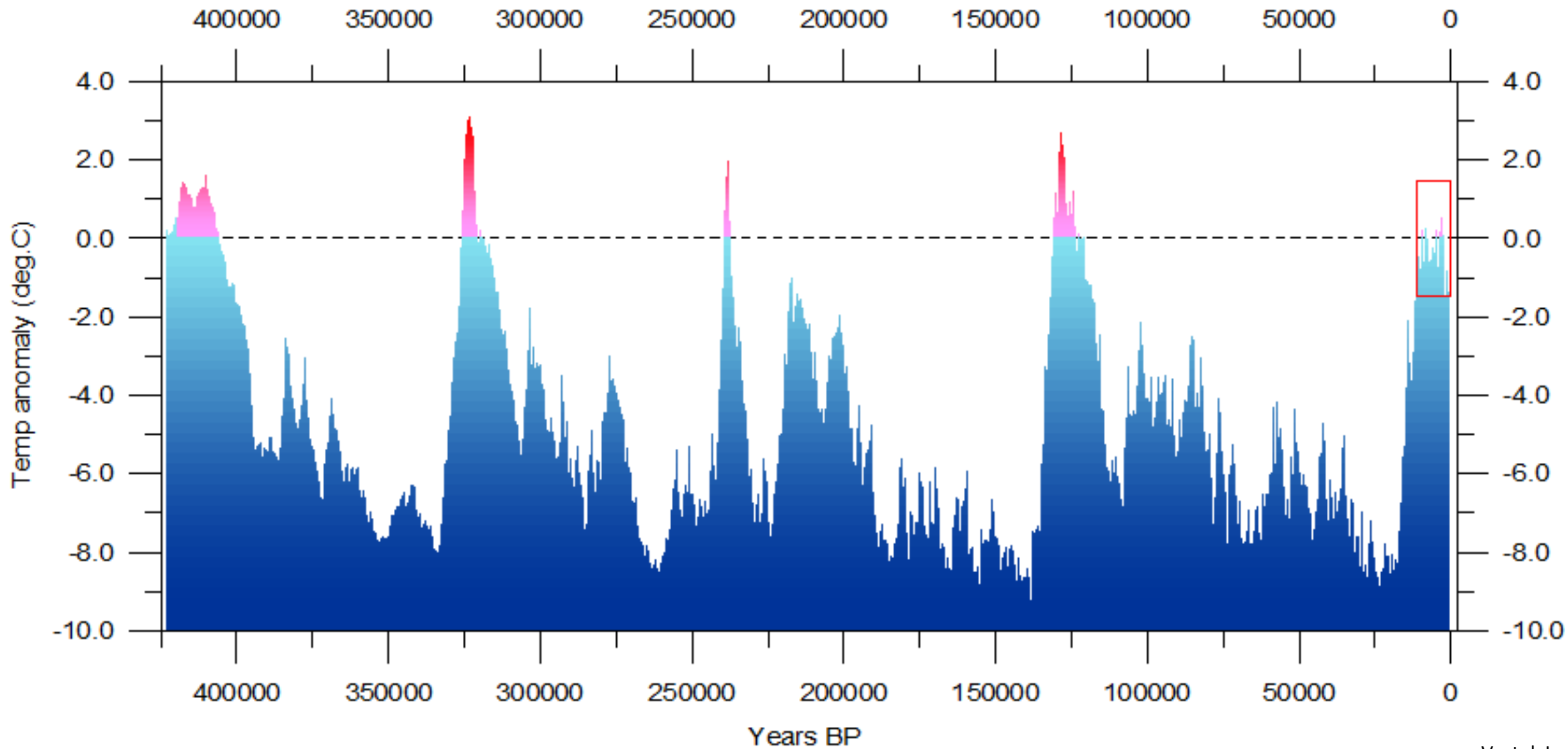
- montmorillonit  
hlavním  
minerálem
- bobtnání
- sorpce



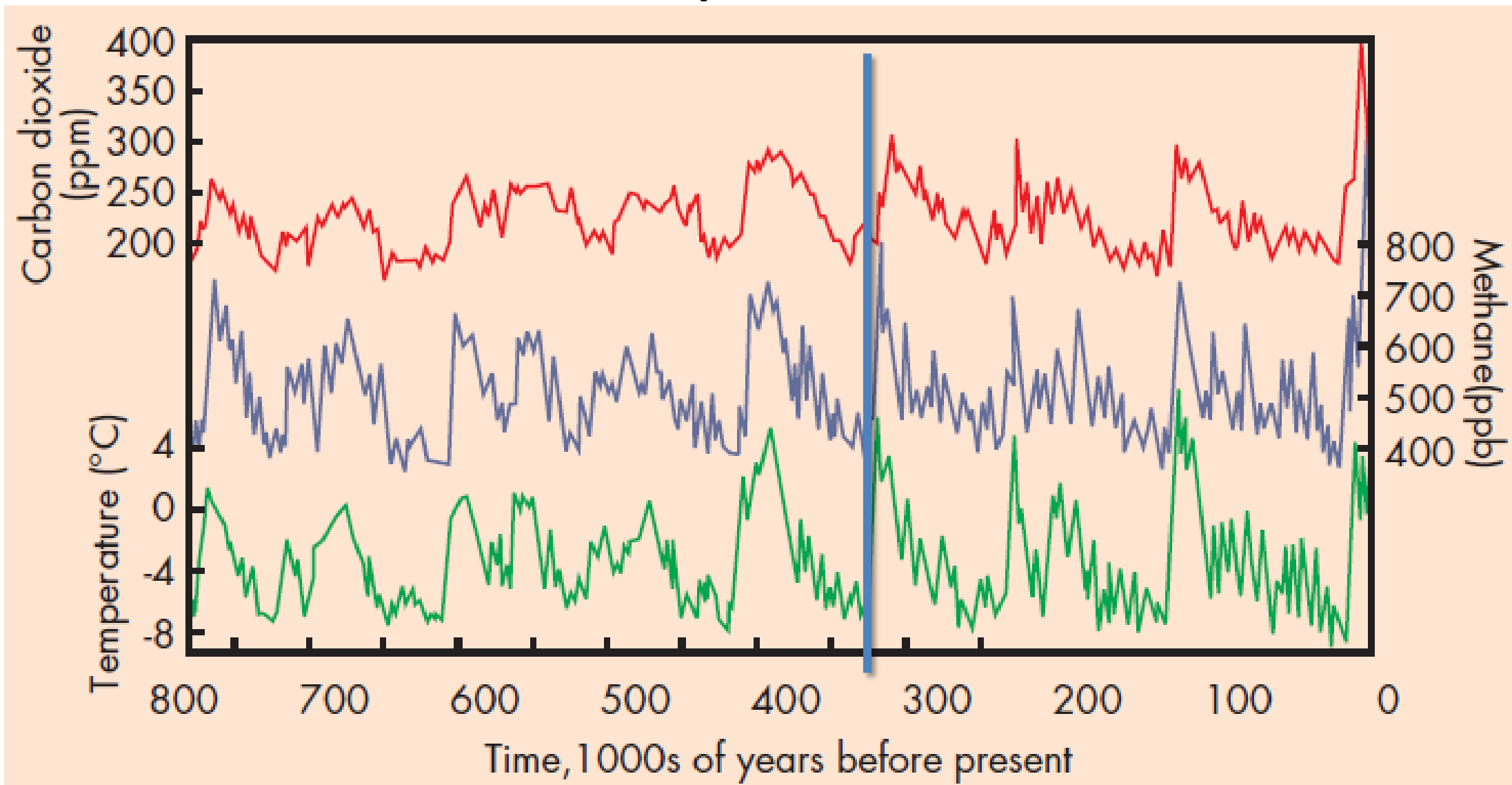
# Situace v ČR



# Perspektiva?



# Perspektiva?





Děkuji za pozornost