



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE



# Problematika teplotního návrhu hlubinného úložiště v podmínkách České republiky

Katedra jaderných reaktorů

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

ČVUT v Praze

Dušan Kobyłka, tel.: 221912388, [dusan.kobyłka@fjfi.cvut.cz](mailto:dusan.kobyłka@fjfi.cvut.cz)

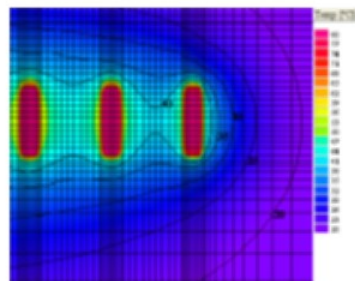
# Teplotní návrh hlubinného úložiště

Vyhořelé jaderné palivo produkuje tep. výkon



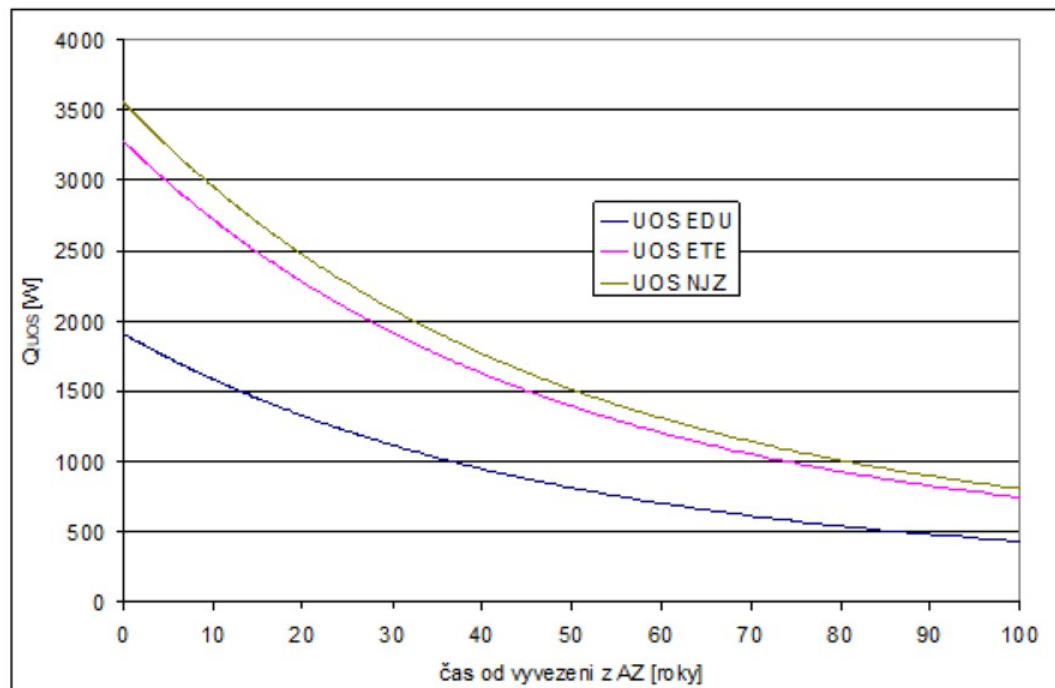
v HÚ se po určité době roste teplota, teplotní pole

- Teplotní pole je funkcí tep. výkonu a "kvality" odvodu tepla
- 2 základní teplotní výpočty:
  - Optimalizace vzdáleností UOS
  - Výpočet teplotního vývoje



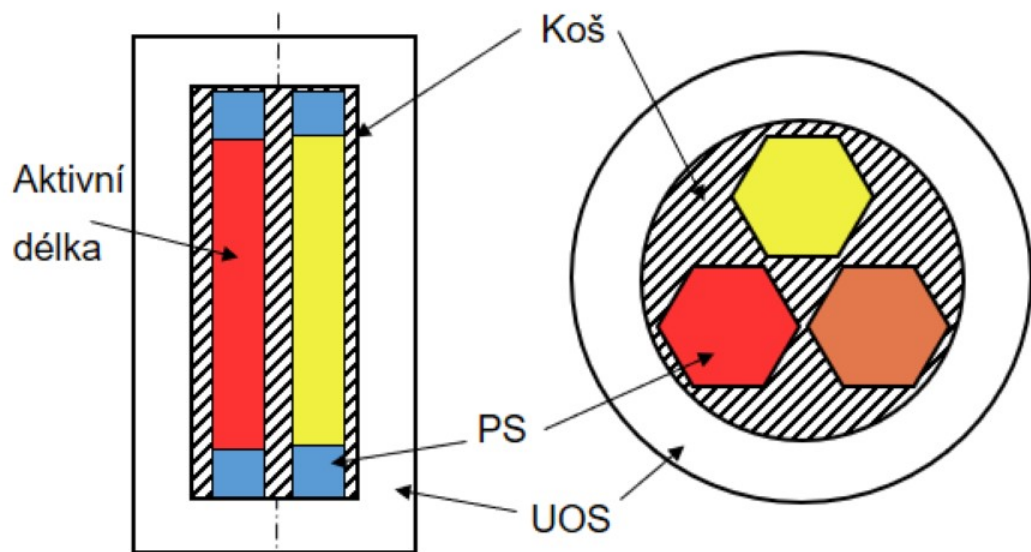
# Tepelný výkon UOS

- Závisí na:
  - Čase (od vyvezení)
  - Množství VJP v UOS
  - Vyhoření VJP

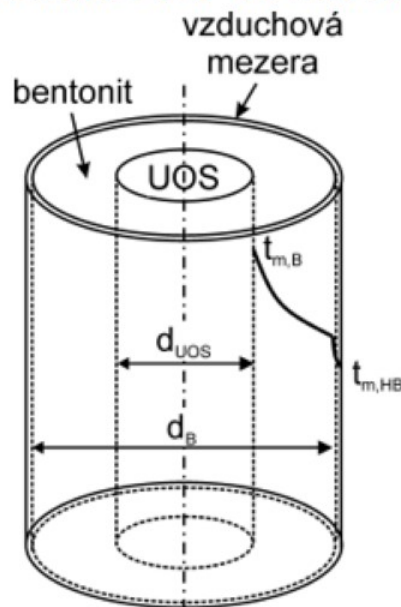


# Vliv inženýrských bariér

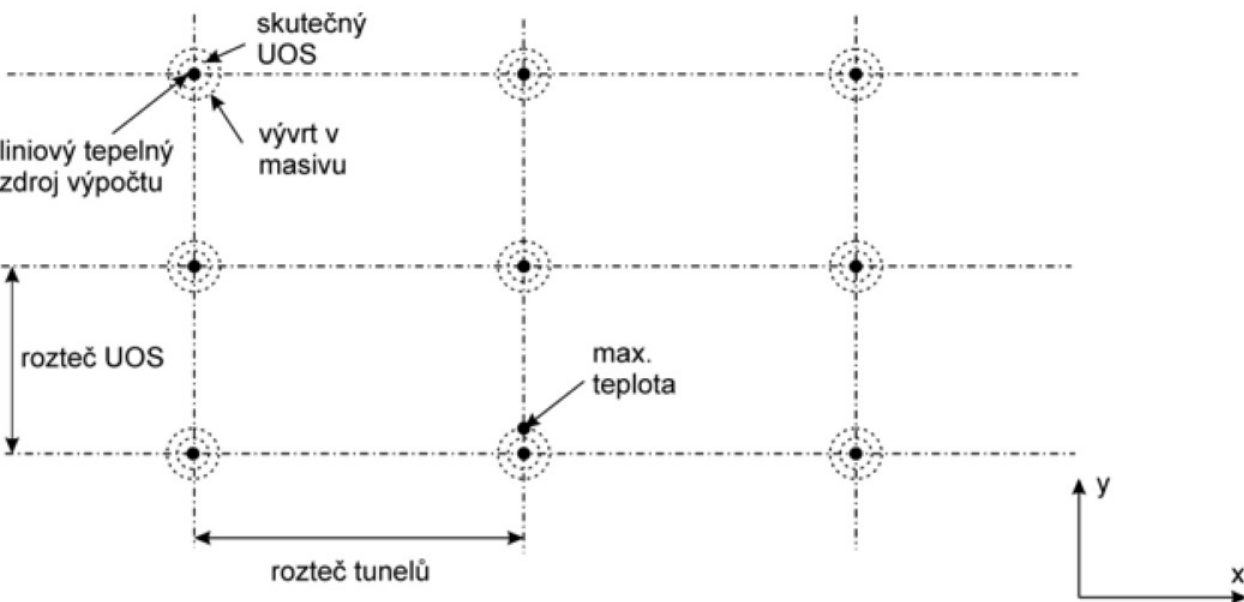
- Ukládací obalový soubor



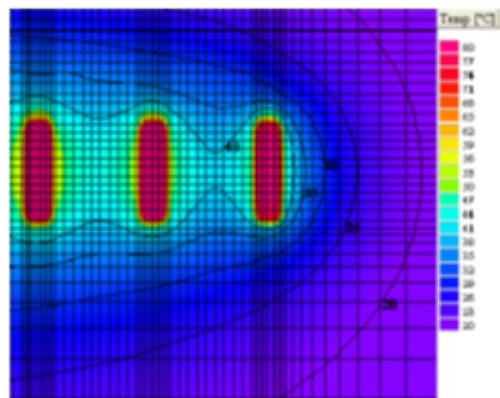
- Bentonitová vrstva(-vy)



# Homogenní horninový blok



(Ikonen, Raiko: Thermal Analysis of KBS-3H Repository, Posiva Oy, 2015)



Hökmark et al: Strategy for thermal dimensioning of the final repository for spent nuclear fuel, R-09-04, SKB, 2009


# Limity a závislosti

- Limitující teploty
  - **Teplota bentonitu**
  - Teplota pokrytí palivového proutku
- Teploty závisí na:
  - Generovaném tepelném výkonu
  - UOS (konstrukce, materiály, ...)
  - Bentonitu (geometrie, vlastnosti, ..)
  - Rozhraní bentonit/HB
  - Homogenním bloku (vlastnosti, počáteční teplota)
  - Poloze UOS v HÚ a geometrii HÚ
  - Čase

# Neurčitosti výpočtů

- Výkon vyhořelého jaderného paliva
- Ukládací obalový soubor
- Bentonitový buffer (maximální teplota, vlastnosti)
- Rozhraní bentonit/HB (velikost, vlastnosti)
- Vlastnosti homogenního bloku
- Neurčitosti nutno snižovat postupným vývojem, výzkumem a průzkumem

# Výpočet optimalizace roztečí UOS

- Výpočet tepelného výkonu UOS
- 2 analytické výpočty odvodu tepla:
  - Odvod bentonitovými vrstvami  max. teplota rozhraní bentonit/HB
  - Teploty HB při proměnných roztečích tunelů a UOS
- Počítány optimální rozteče UOS a tunelů pro varianty:
  - 3 typy paliv (EDU, ETE, NJZ)
  - horizontální a vertikální ukládání UOS
  - 9 lokalit s různými termofyzikálními vlastnostmi HB
- Zadáno: geometrie, povolená teplota bentonitu, ...

# Výpočet teplotního vývoje HÚ

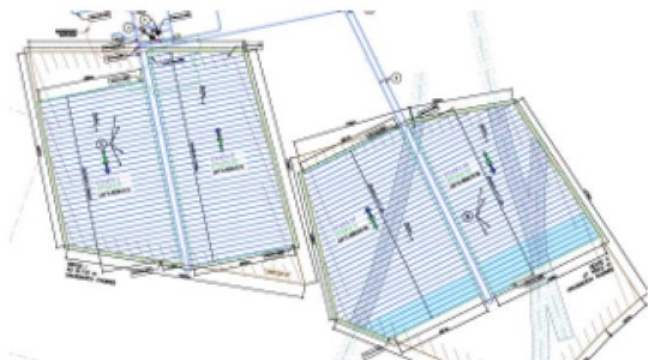
- Výpočet dlouhodobého tepelného výkonu UOS
- Analytický výpočet teplotního pole v HB
- Pro optimální vzdálenosti UOS a tunelů ve variantách:
  - 7 lokalit s různými termofyzikálními vlastnostmi HB
  - 2 typy ražby
  - 2 typy ukládání
- Zadáno: návrh HÚ, termofyzikální vlastnosti HB, počáteční teplota HB, atd.

# Odlišení lokalit

- Vlastnosti HB:

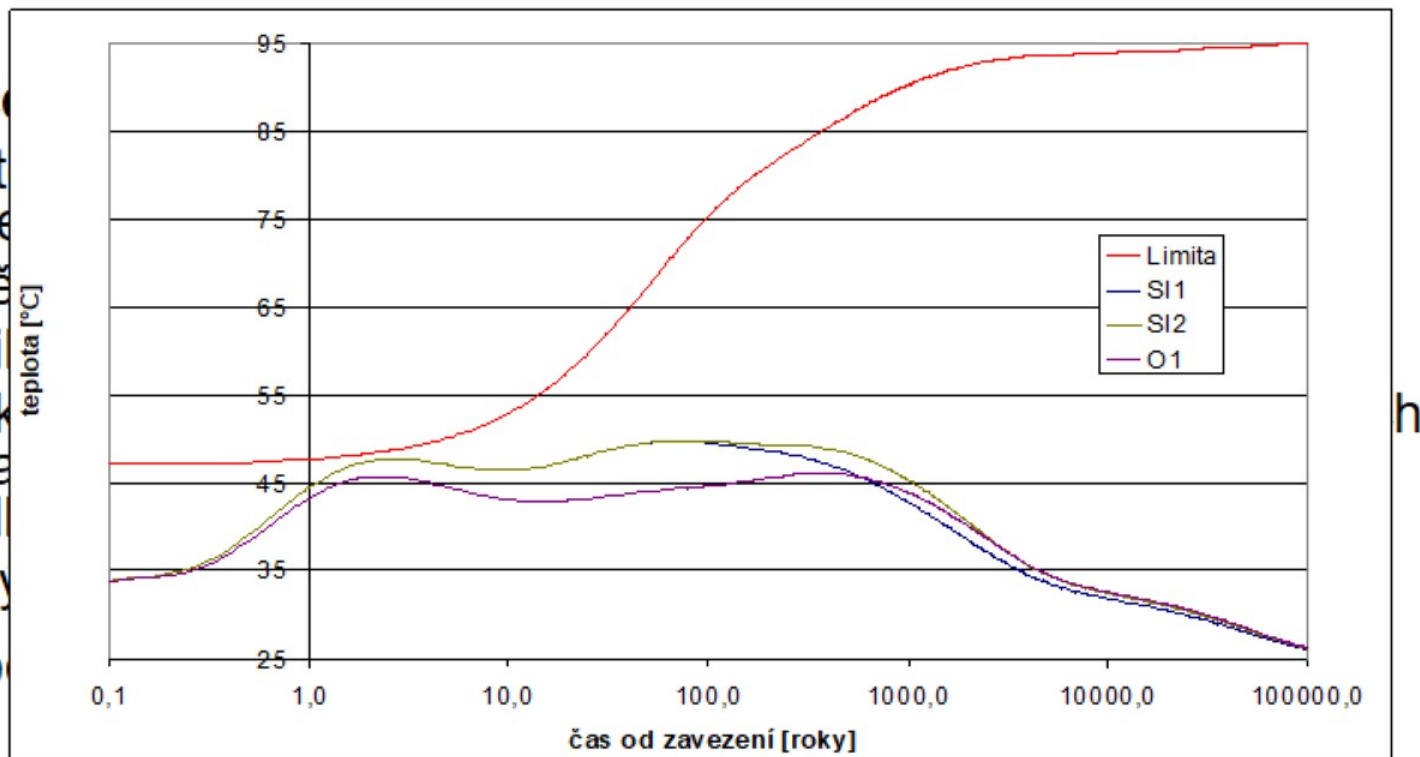
	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
Březový potok	2,7
Horka	2,1
Kraví hora	2,7
Čihadlo	2,8
Čertovka	3,2
Hrádek	2,8
Magdaléna	1,8
Na Skalním	2,04
Janoch	2,67

- Podoba HB, resp. HÚ



# Zhodnocení výpočtů

- Rozteč
  - Rozt
  - ulože
  - Silně
  - Verti
  - U lok
  - přípa
  - prod
  - Velky
- Dlouho



# Srovnání podmínek ČR se světem

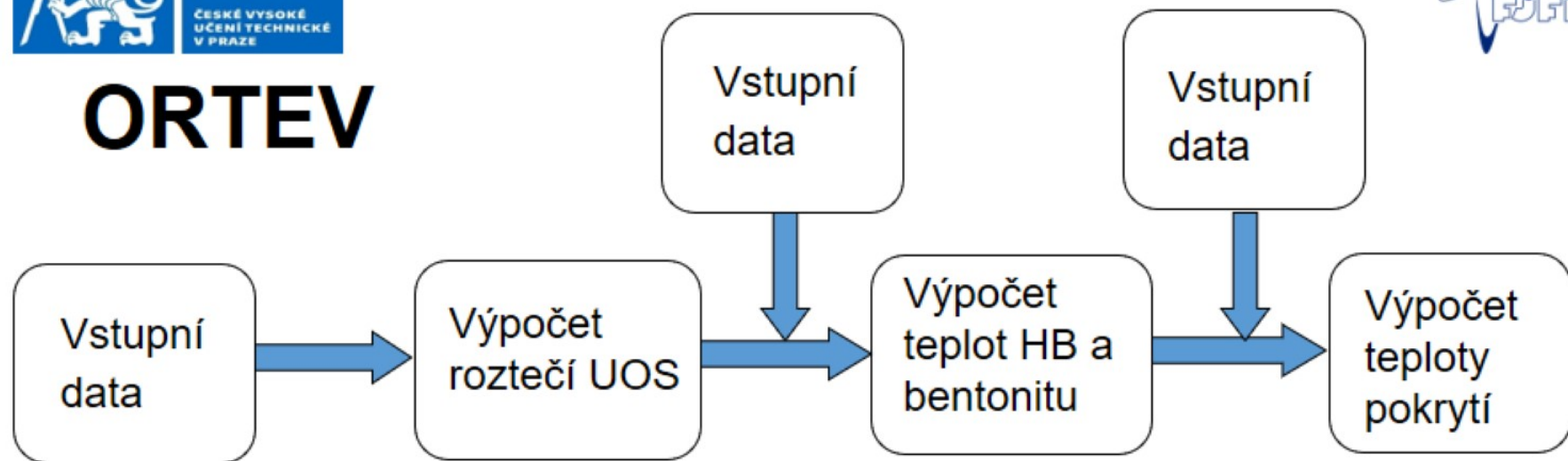
- Ne příliš vhodné parametry hornin HB:
  - ČR viz tab.
  - Forsmark: 3,34 W/mK
  - Olkiluoto: 2,72 - 2,91 W/mK
- Vysoká počáteční teplota v HB:
  - ČR (uvažováno): 25 °C
  - Forsmark: 11 °C
  - Olkiluoto: 10,5 °C
- Vlastnosti bentonitu

	Součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
Březový potok	2,7
Horka	2,1
Kraví hora	2,7
Čihadlo	2,8
Čertovka	3,2
Hrádek	2,8
Magdaléna	1,8
Na Skalním	2,04
Janoch	2,67

# ORTEV

- **Optimalizace roztečí a předběžný teplotní výpočet** hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva
- TAČR - THETA, TK03010103, Červenec 2020 - červen 2022
- KJR-FJFI-ČVUT + Škoda JS, aplikační garant SÚJB
- Základní uživatelem zadávaná data výpočtu:
  - Tepelný výkon UOS
  - Parametry UOS (geometrie, materiálové vlastnosti a limity)
  - Parametry bentonitu (geometrie, materiálové vlastnosti a limity)
  - Parametry HB (materiálové vlastnosti, počáteční teplota)
  - Počet UOS, základní rozložení HÚ
  - Atd.

# ORTEV



- Výsledky interpretovány graficky i výpisy to souborů
- Podrobná dokumentace pro správnou interpretaci výsledků

# Závěr

- Odvod tepla, tj. teplotní výpočet HÚ, bude v podmínkách ČR jedním z nejvíce limitujících faktorů návrhu
- Popis odvod tepla je komplexní záležitostí a vypočtené rozteče a teploty jsou zatíženy nejistotami, které jsou úměrné stupni vývoje HÚ a inženýrských bariér
- Byly provedeny zjednodušené optimalizační výpočty roztečí UOS na 9 lokalitách pro varianty ukládání vertikální a horizontální a 3 typy UOS
- Byly provedeny zjednodušené výpočty dlouhodobého vývoje teplot na 7 lokalitách pro konkrétní návrhy úložišť
- Pro zpřesňování výsledků je nezbytný další vývoj inženýrských bariér i poznatků o horninovém prostředí
- V současné době probíhá vývoj SW, který výrazně urychlí a zjednoduší teplotní analýzy