



Problémy ochrany podzemných vôd 2025

Hydrologické a hydrogeologické aspekty hlbinného úložiska rádioaktívnych odpadov v Českej Republike.

Ján Klištinec

Rádioaktivny odpad v ČR:

Producent: Jadrové elektrárne

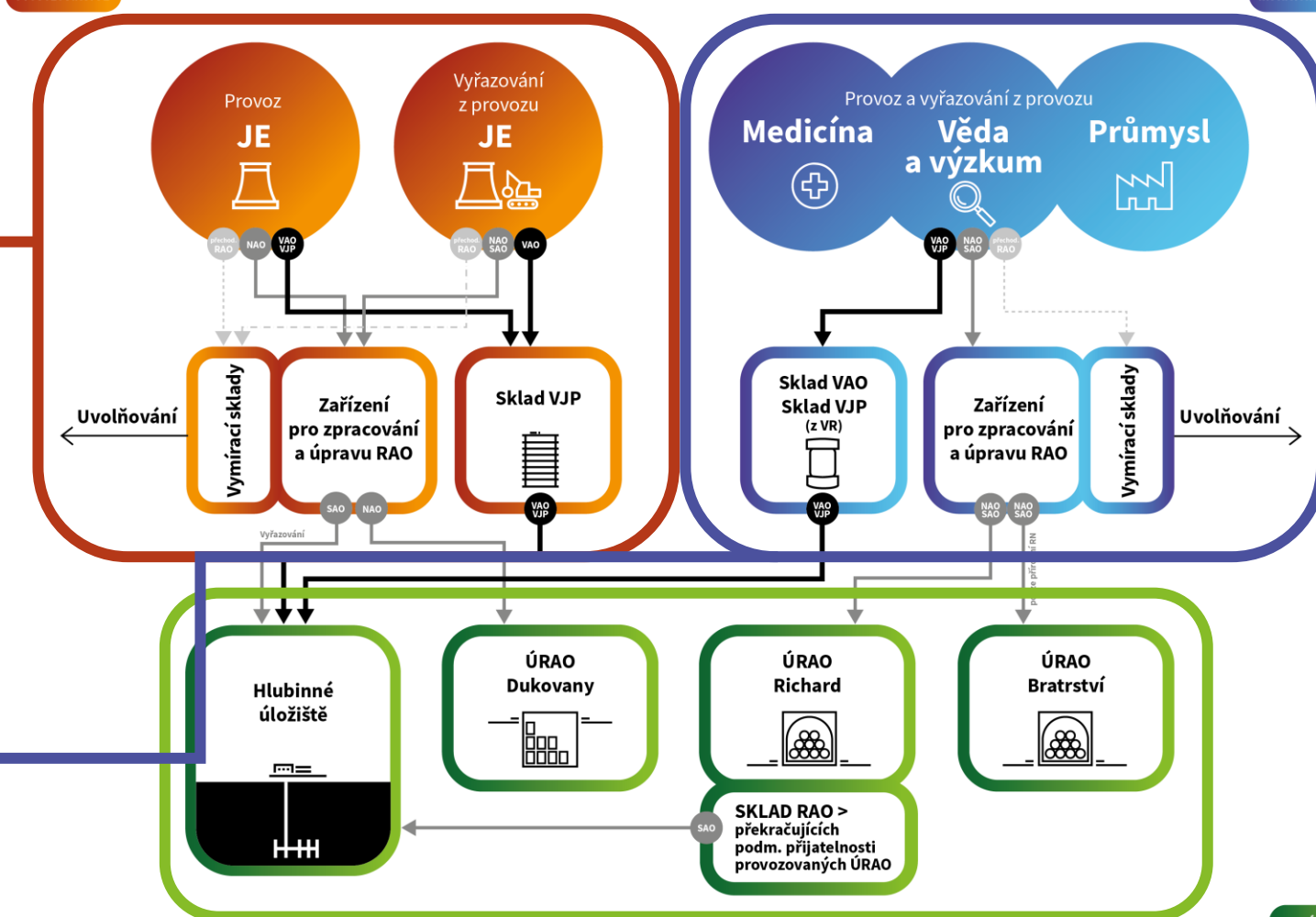
Odpad: Vyhorené jadrové palivo (VJP), stredne, nízko aktívne odpady

Producent: Medicína, priemysel a veda

Odpad: Vyhorené jadrové palivo (málo), stredne, nízko aktívne odpady

Provozovatel JE

Instucionální RAO



SÚRAO

Rádioaktivny odpad v ČR:



ÚRAO Dukovany

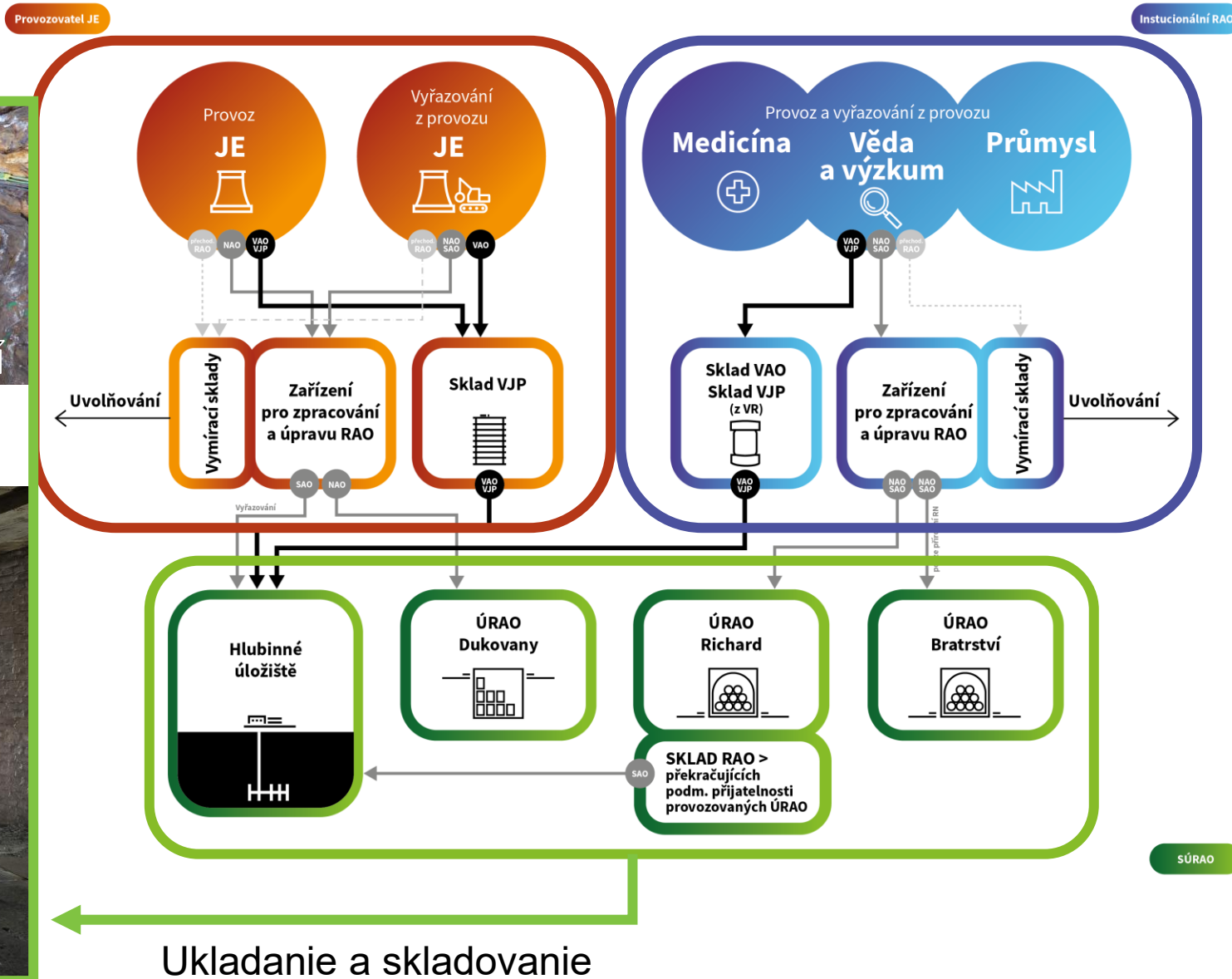


ÚRAO Bratrství

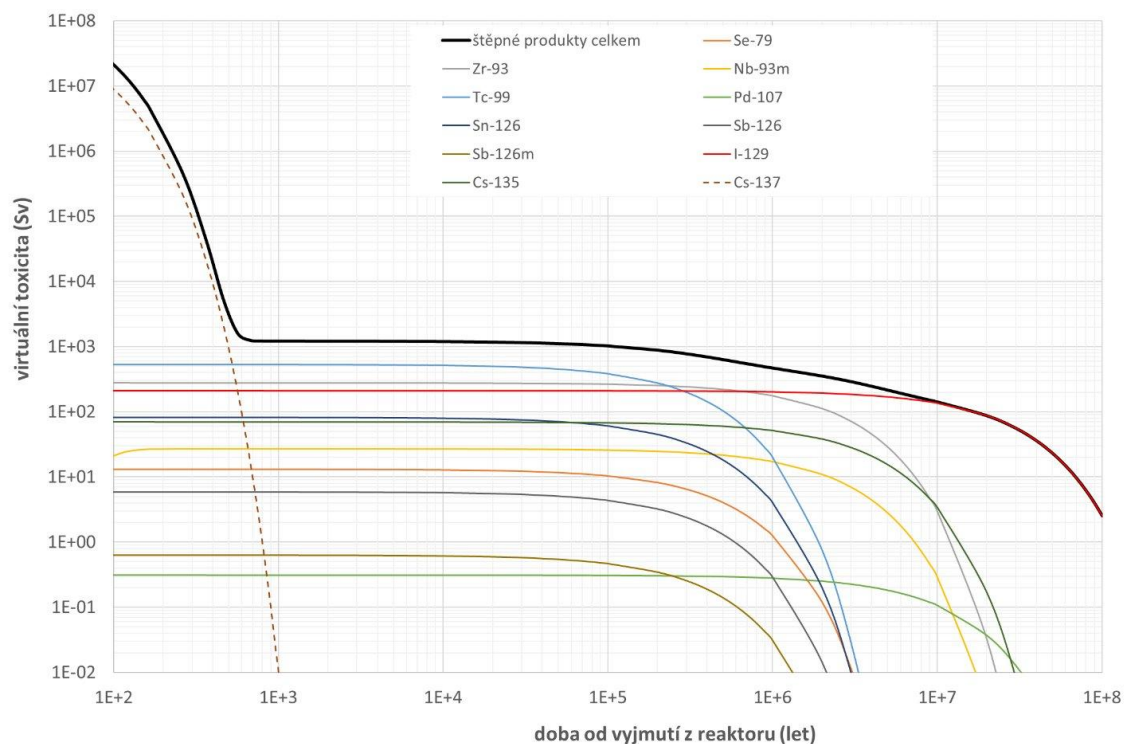
Nízko a středně aktivny odpad



ÚRAO Richard



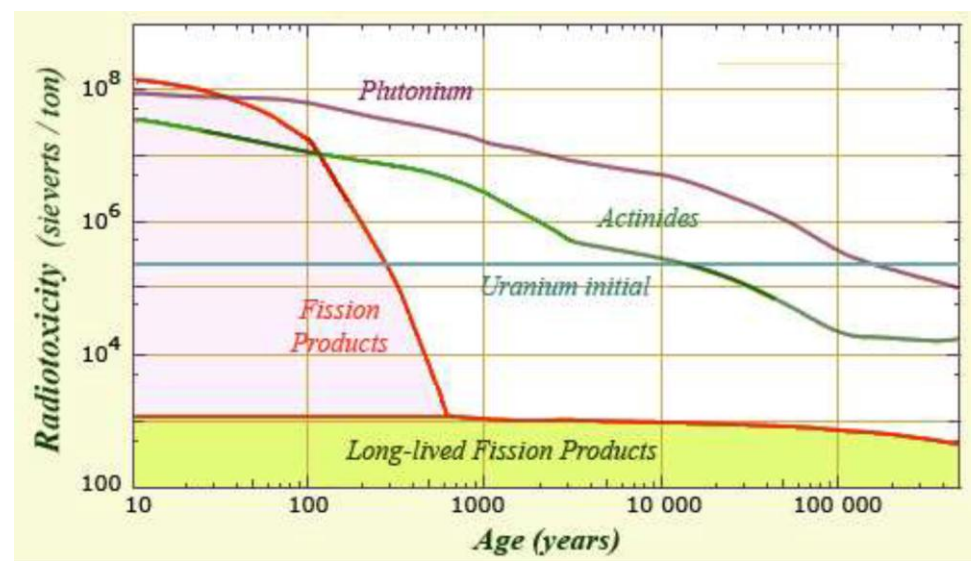
- Vysoko aktivny odpad a VJP predstavujú hrozbu pre ŽP z dlhodobého hľadiska
- Potreba izolácie od prostredia na dobu až **1 milión rokov!**



Typ reaktoru	VVER-440	VVER-1000	NJZ*	SMR*
Počet reaktorů	4	2	4	6
Max. doba provozu (roky)	60	60	60	60
Min. doba chlazení (roky)	65	65	65	65
Počet PS (ks)	19 537	5 578	13 329	11 684
Počet PS v UOS (ks)	7	3	3	3
Počet UOS (ks)	2 791	1 860	4 443	3 885

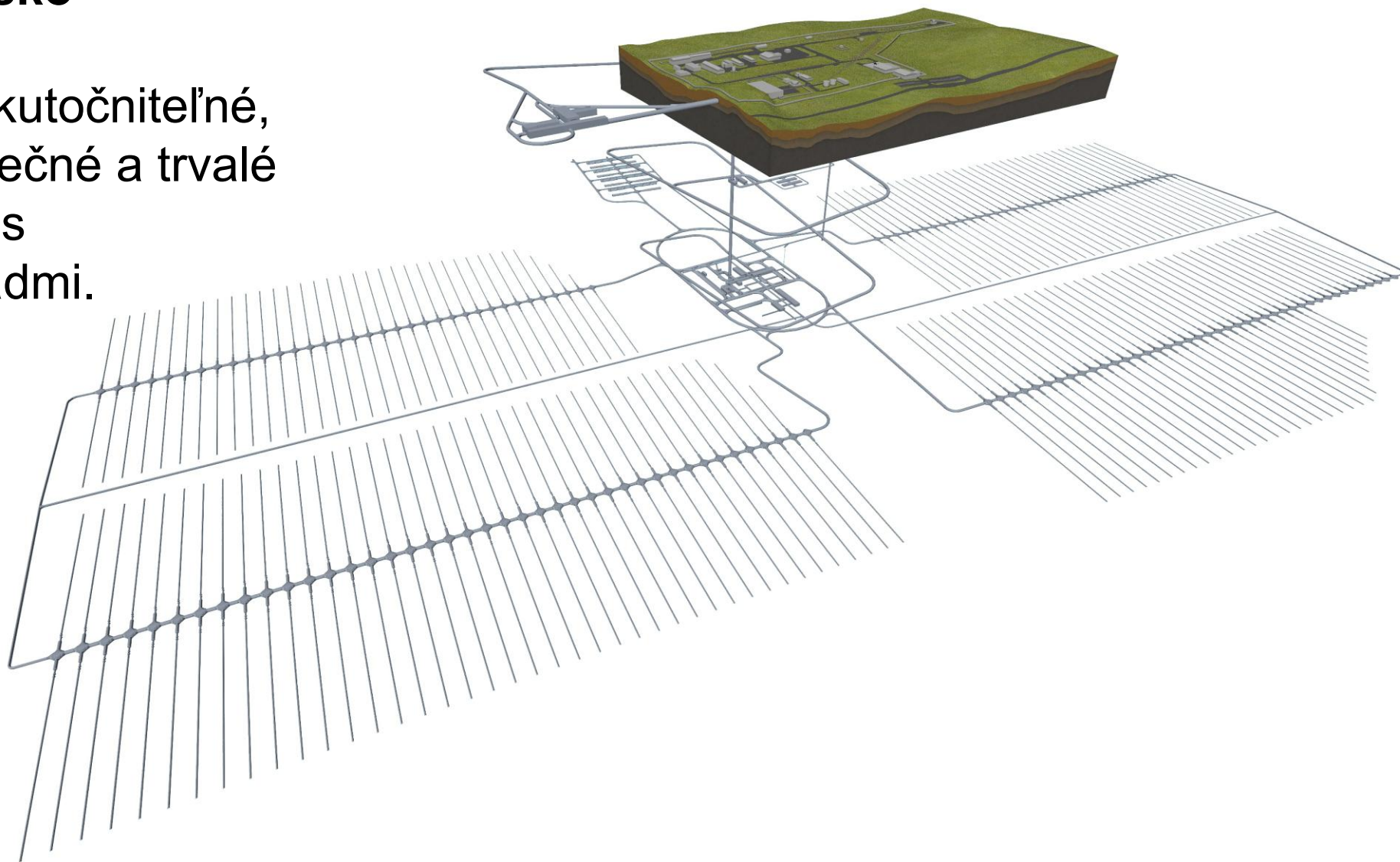
spolu **12 979 UOS**

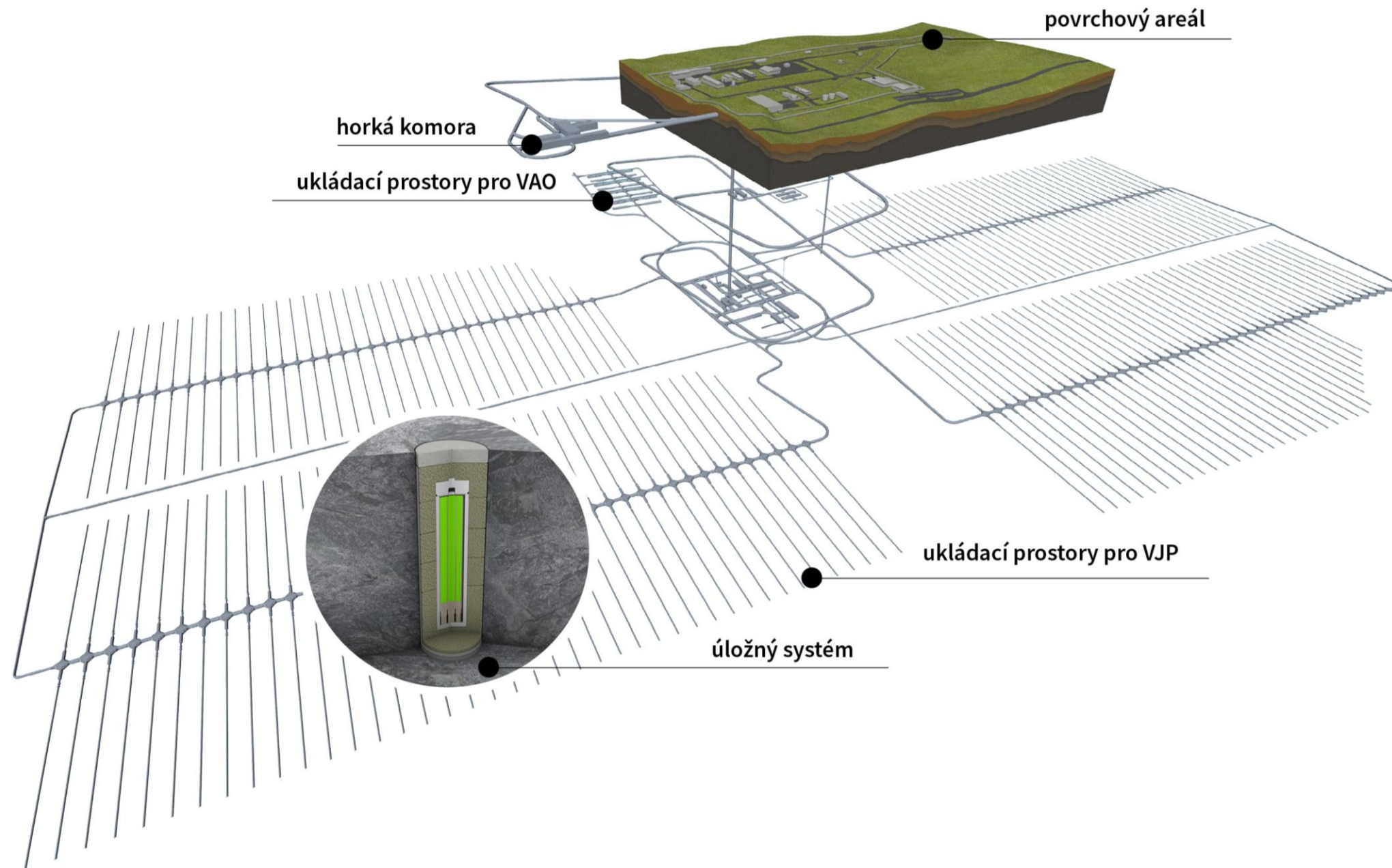
*podle koncepce nakládání radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem MPO



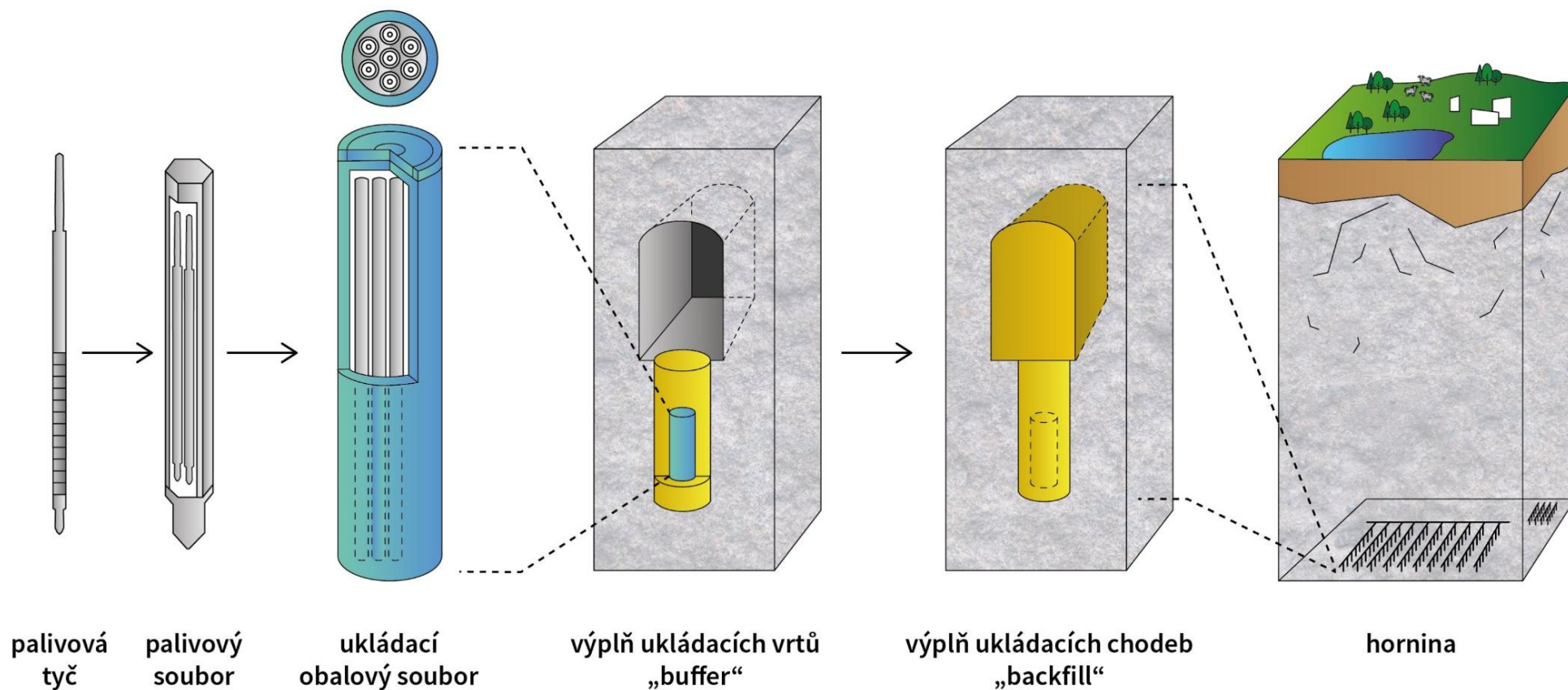
HÚ – hlbinné úložisko

Jediné technicky uskutočniteľné,
preukázateľne bezpečné a trvalé
riešenie nakladania s
rádioaktívnymi odpadmi.





Multibariérový systém = Přírodní + inženýrské bariéry

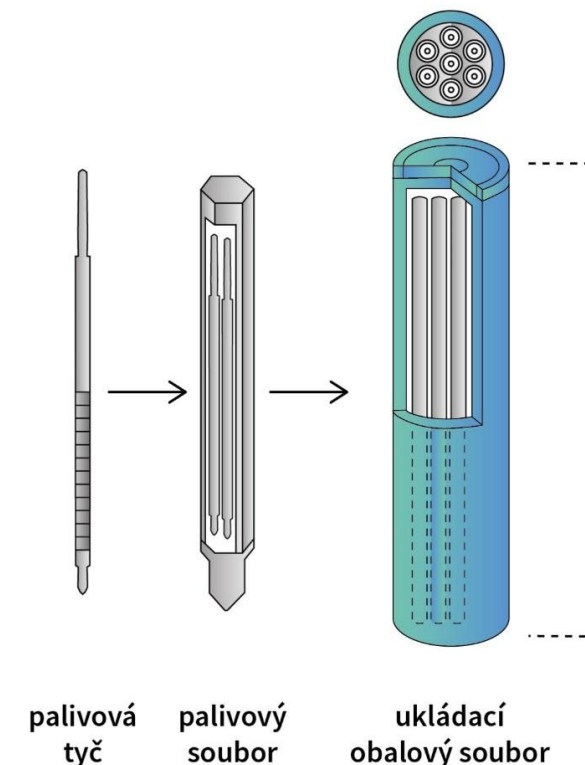
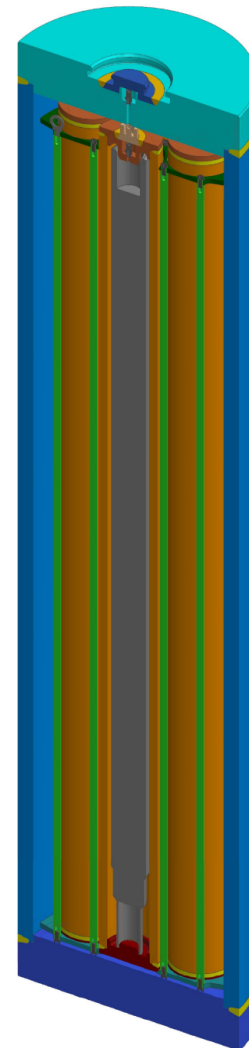


UOS – Ukládací obalový soubor

- Dvoj plášťový systém – vnútro nerezová oceľ, vonkajší plášť uhlíková oceľ
- Pre zaistenie dlhodobej bezpečnosti je dôležité zabezpečiť chemickú stabilitu

UOS – bentonit – voda

- Dôležité zaistiť životnosť UOS na 1 milión rokov

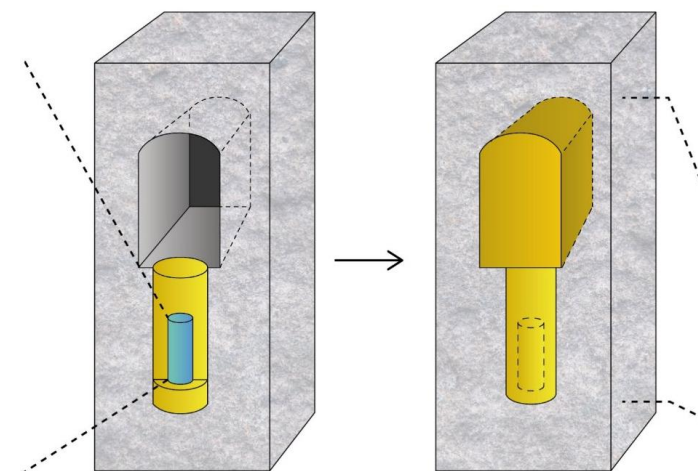


Buffer – tesniaca vrstva

- Hlavný tesniaci materiál je bentonit
- Ide o ílový minerál – využitie boptnacej schopnosti bentonitu pri kontakte s vodou
- Spolu s vodou zabezpečiť stabilné chemické prostredie UOSu
- Použitie Českého bentonitu Černý vrch - BCV



Testovanie materiálov v
prostredí podzemného
výskumného
pracoviska Bukov



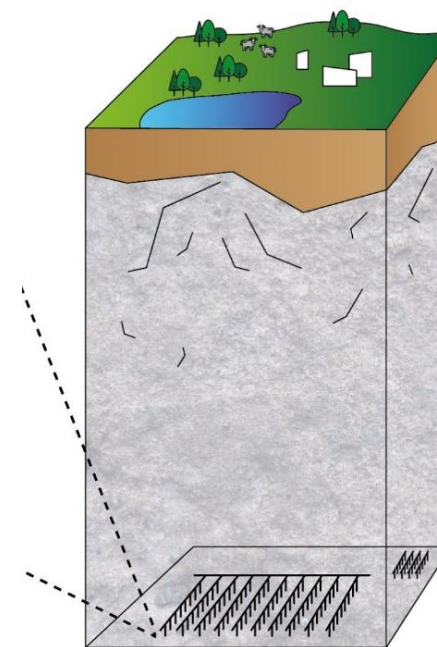
výplň ukládacích vrtů
„buffer“

výplň ukládacích chodeb
„backfill“

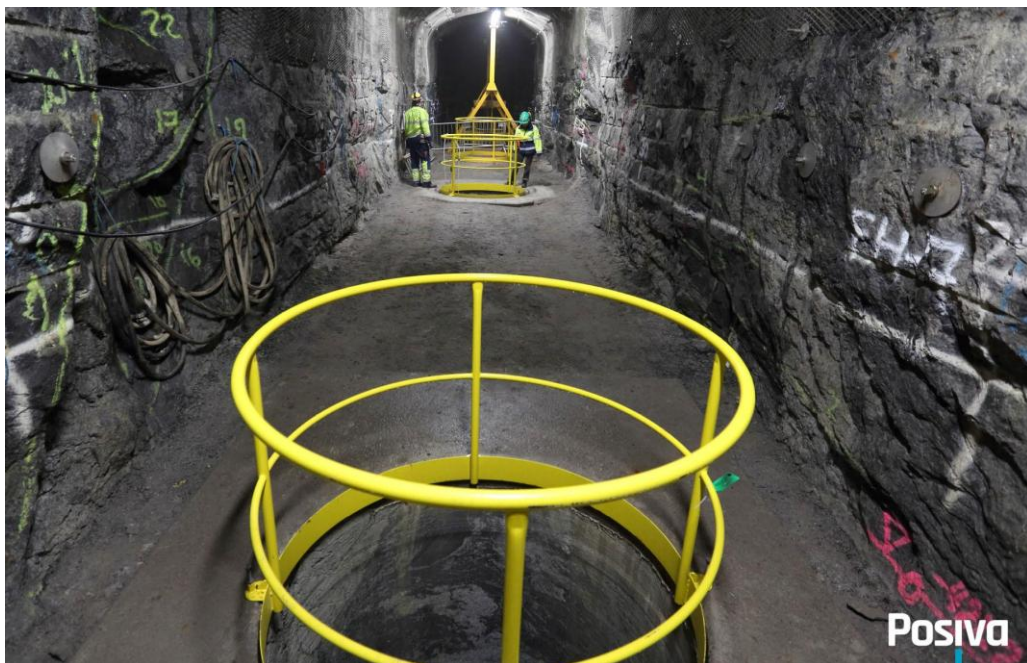


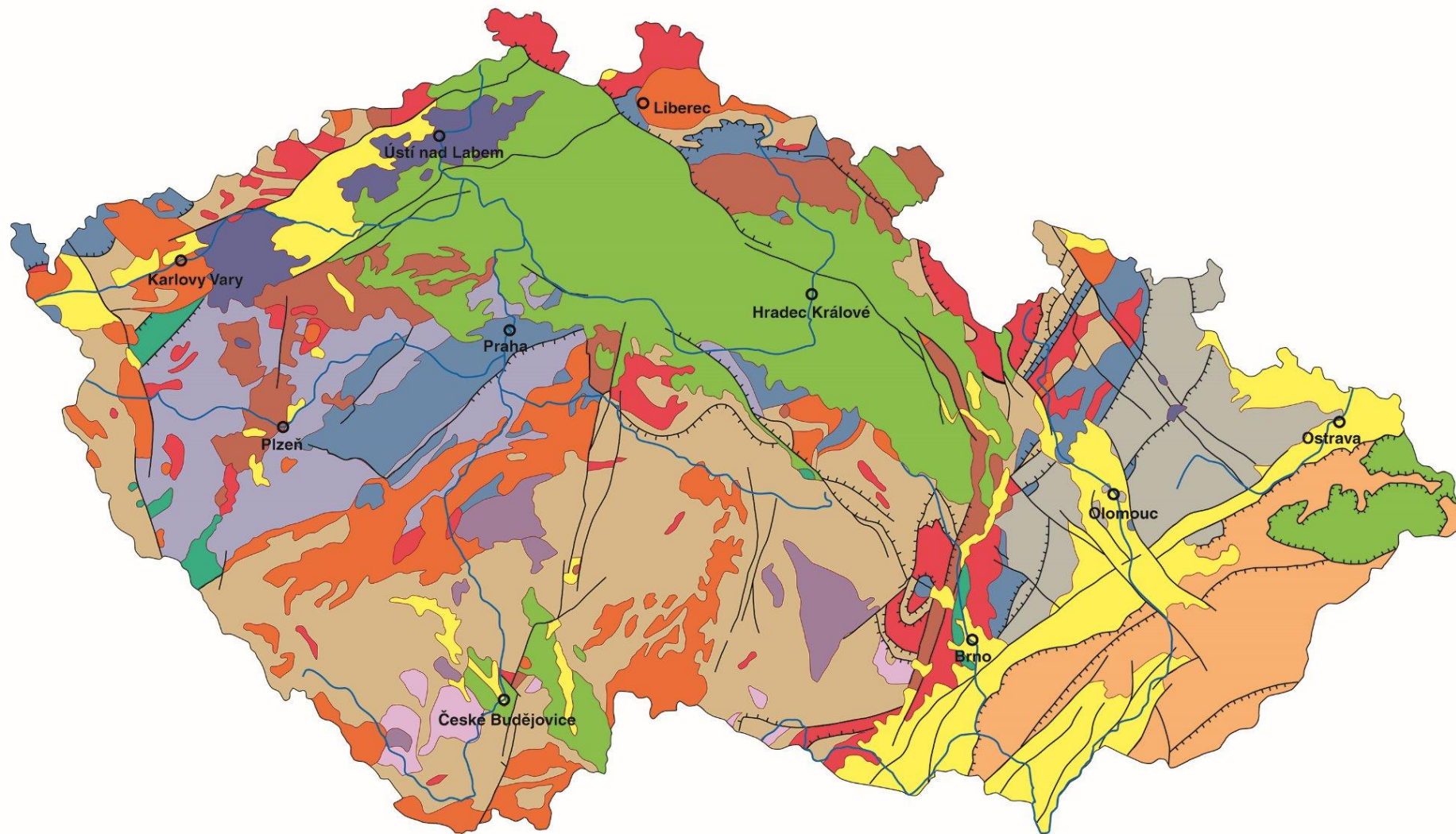
Hornina – koncept kryštalinických hornín

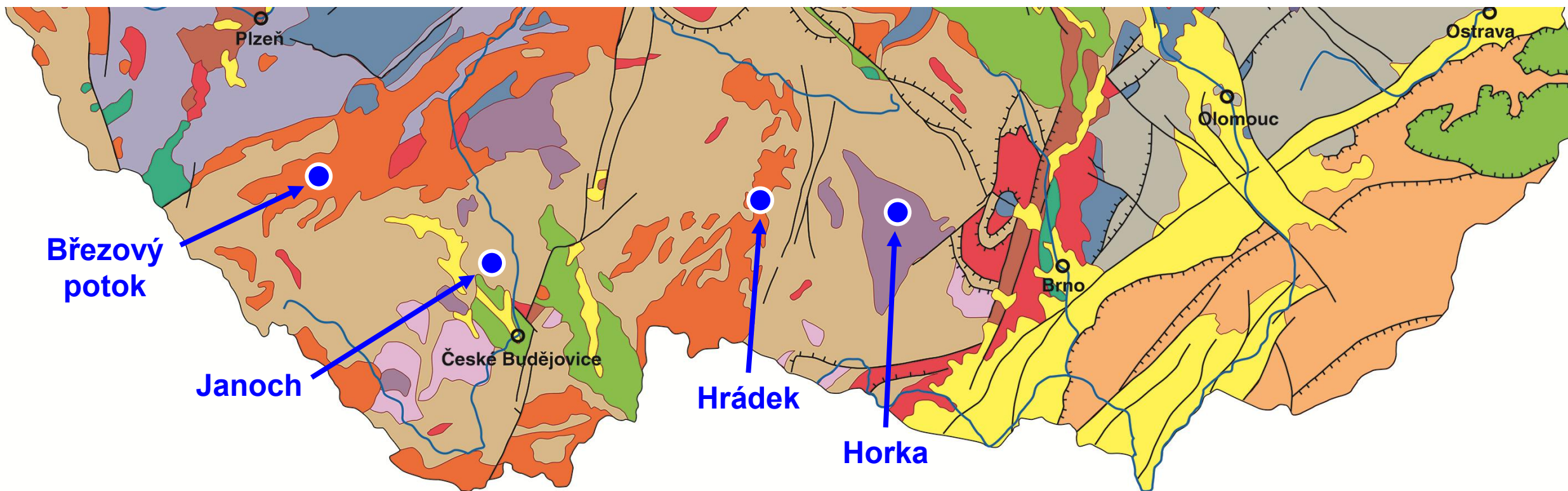
- Podobný koncept ako Fínska Posiva alebo Švédske SKB



hornina







kenozoikum: neogén



mezozoikum



paleozoikum:
spodní karbon až kambrium



granulity



granitoidy, vč. ortorul,
převážně předordovické



kenozoikum: paleogén



paleozoikum:
perm a svrchní karbon



neoproterozoikum



granitoidy, převážně karbonské



gabroidy, ultrabazika aj.



kenozoikum:
neovulkanity



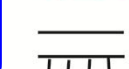
paleozoikum:
spodní karbon, kulm



ruly, migmatity aj.,
neznámého stáří



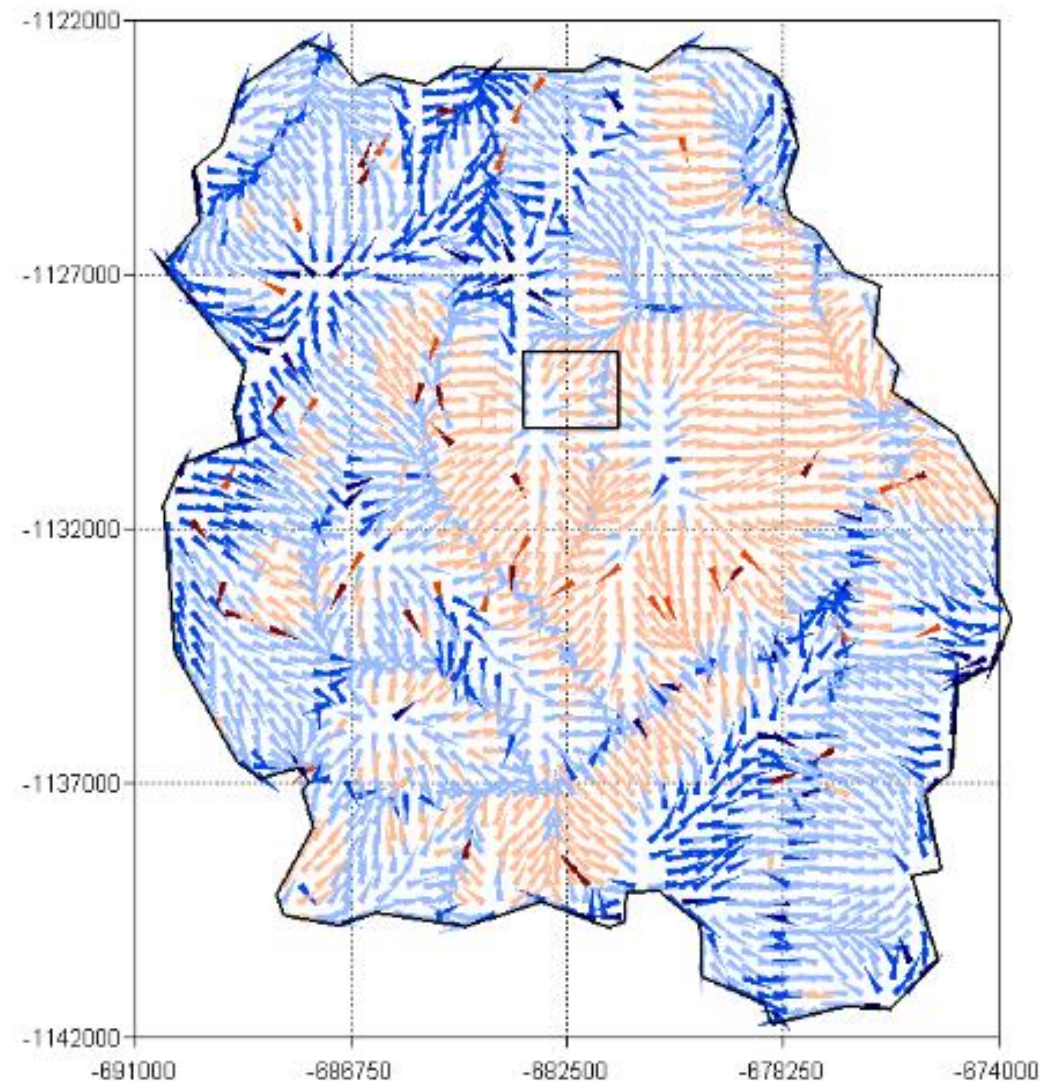
durbachity, karbonské



zlom
přesmyk a násun

Voda a HÚ

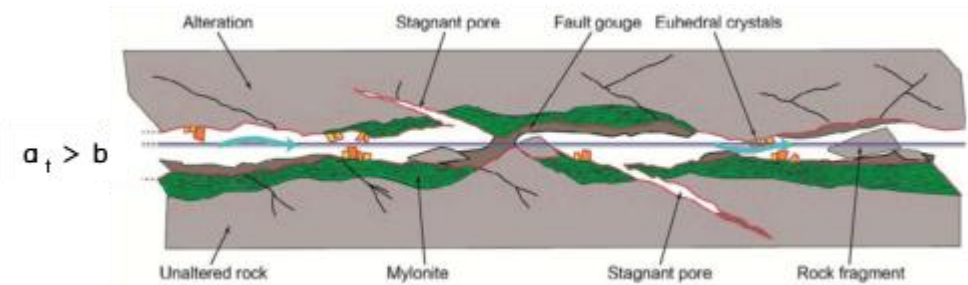
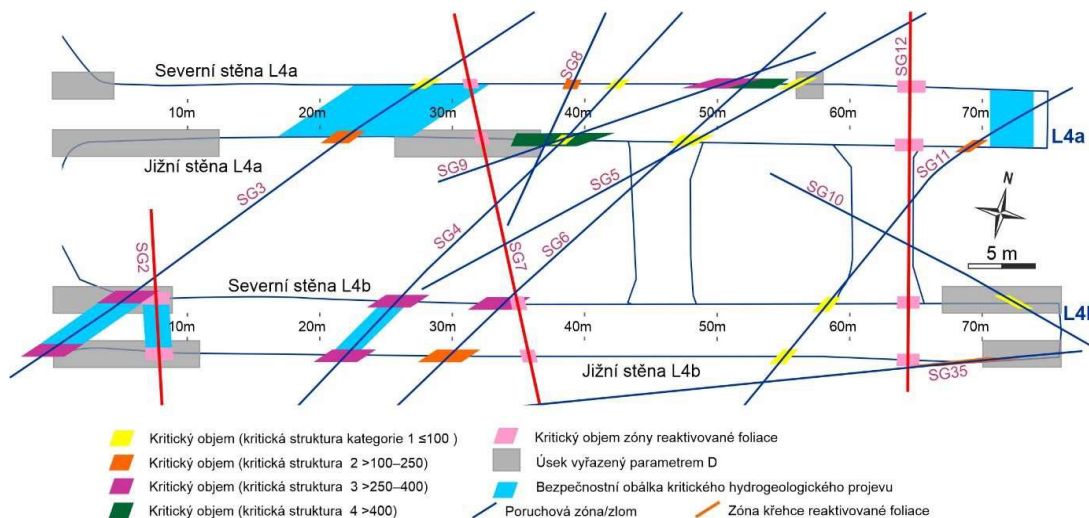
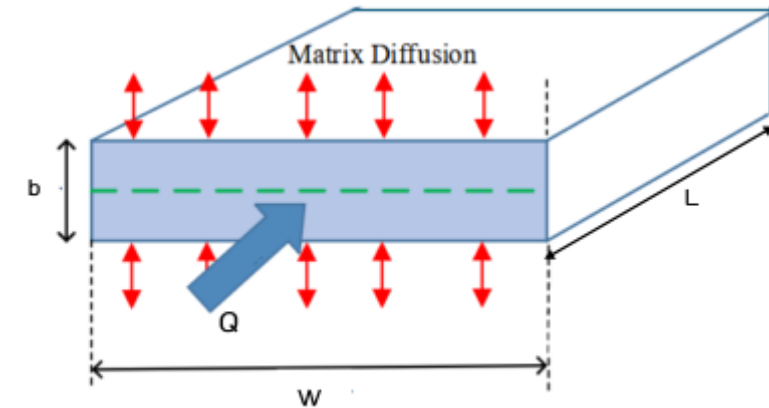
- Voda je hlavné transportné médiu rádionuklid
- Korózia UOS a konštrukčných prvkov
- Dôležité poznať chemické zloženie vôd na ukladacom horizonte – zabezpečenie chemickej kompatibility jednotlivých častí inžinierskych bariér
- V kryštaliniku je hlavný kontrolný mechanizmus prúdenia pzv **puklinová sieť** = **DFN modely**



Modelované prúdenie pzv na ukladacom horizonte, lokalita Hrádek (Havlova et al. 2018)

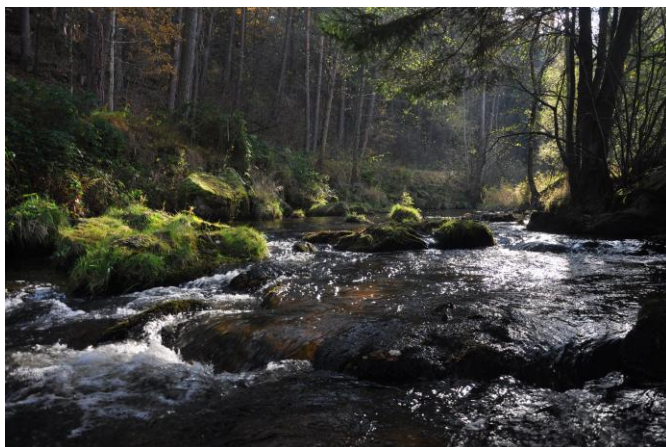
Voda a HÚ – hlboký obeh

- Príliš veľká hydraulická vodivosť, a príliš veľké prýtoky môžu byť vylučujúce kritérium na úrovni lokality, ale aj na úrovni jednotlivých ukladacích chodieb
- Transportné modely sú kritickou komponentou pred zahájením samotnej stavby HÚ
- Na ukladacom horizonte (-500m) bude prebiehať podrobná charakterizácia a monitoring prítoku každej štruktúry
- Dáta budú získané z hlbokých vrtov (až 1200m)



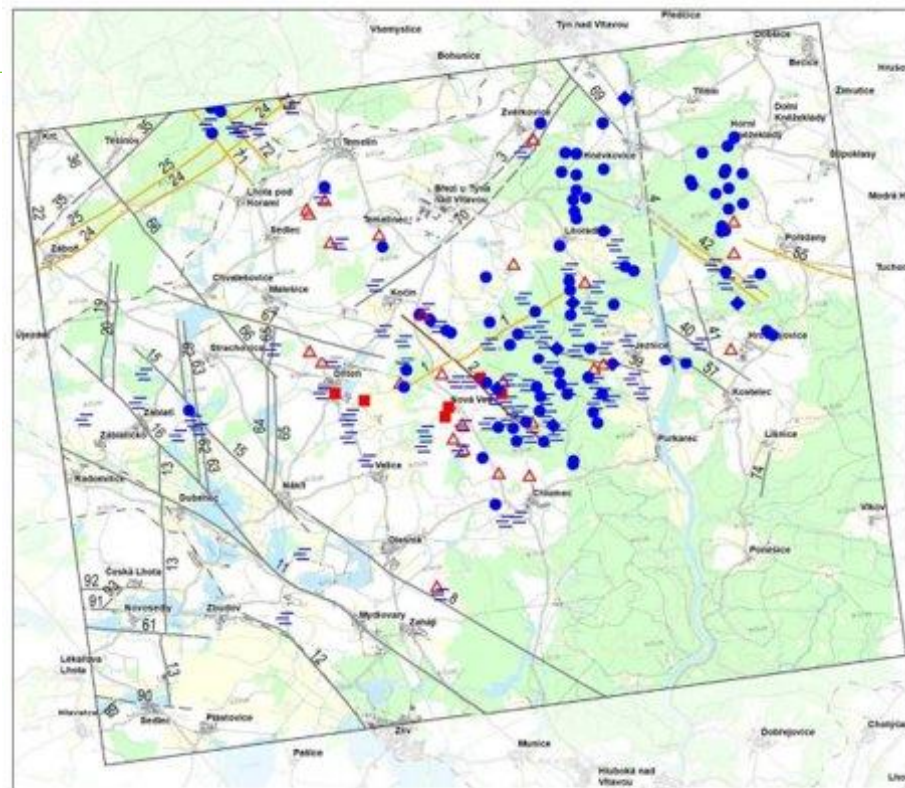
Voda a HÚ – plytký obeh

- Dôležitý najmä počas budovania a prevádzky HÚ (horká komora)
- Monitoring bude veľmi dôležitý – skúsenosť z už prevádzkovaných úložísk ako URAO Richard
- Zabezpečenie nulového dopadu na kvalitu a kvantitu pzv v lokalite HÚ
- Dáta sú dôležité ako okrajová podmienka modelov
- **Podklady aj pre modelovanie budúceho morfológického vývoja lokality**



Hydrogeologické mapovanie a hydromonitoring

- Hydrogeologické mapovanie
1 : 25 000 a 1 : 10:000
- Dokumentácia objektov ako
sú povrchové vody, pramene,
studne atd. vrátane výtokou z
drenážnych objektov kde se
meria pH, vodivosť, teplota
vody, výdatnosť
- Dôležitý vstup do
hydromodelov
- Na projekte HÚ robí cca. 80
odborníkov z radov ČGS



Zjazy zjištěné		Zjazy předpokládáné	
● Pramen nezachycený	◆ Pramen zachycený	■ Studna	
— Mělník	△ Výtok z drenáže	 Rozsah geologické mapy odkryté	
— S ověřenou hydrogeologickou funkcí	— S pravděpodobnou hydrogeologickou funkcí	— Bez možnosti ověřit hydrogeologickou funkci	
--- S ověřenou hydrogeologickou funkcí	--- S pravděpodobnou hydrogeologickou funkcí	--- Bez možnosti ověřit hydrogeologickou funkci	



**ČESKÁ
GEOLOGICKÁ
SLUŽBA**



Projekt: Hydrologický, hydrogeologický a hydrologický monitoring – lokalita Březový potok, Horka, Hrádek a Janoch

- Cieľ: získanie referenčných údajov, monitorovacie údaje sa použijú na tvorbu a spresnenie existujúcich 3D hydrogeologických modelov

Na základe monitorovacích údajov budú vypočítané:

- Podzemná a povrchová **vodná bilancia**
- Základný **odtok** z lokalít

Budú zostavené:

- **Popisné modely lokalít**

Budú vytvorené:

- Hydraulické prietokové modely a modely dažďa-odtoku lokalít



Monitorovanie klímy – 2 meteorologické stanice na jednom mieste – jedna z Českého hydrometeorologického ústavu, druhá je nová – vytvorená pre tento projekt. Hlavné monitorované parametre sú:

- teplota vzduchu
- relatívna vlhkosť
- rýchlosť vetra
- smer vetra
- doba slnečného svitu
- množstvo atmosférických zrážok
- atmosférický tlak
- tlak vzduchu



Interval uchovávanía dát nameraných premenných je 10 minút, interval odosielania dát na externý server je 1 hodina.

Monitorovanie povrchových vôd

- meranie prietokov povrchových vôd (automatická stanica, meranie každých 10 minút)
 - meranie prietokov (meranie **4-krát ročne**, v každom ročnom období) počas tohto merania bude odoberaná vzorka vody na chemické parametre
- Metóda sekvenčného merania prietokového profilu (meranie **2-krát ročne**)



Monitorovanie podzemnej vody

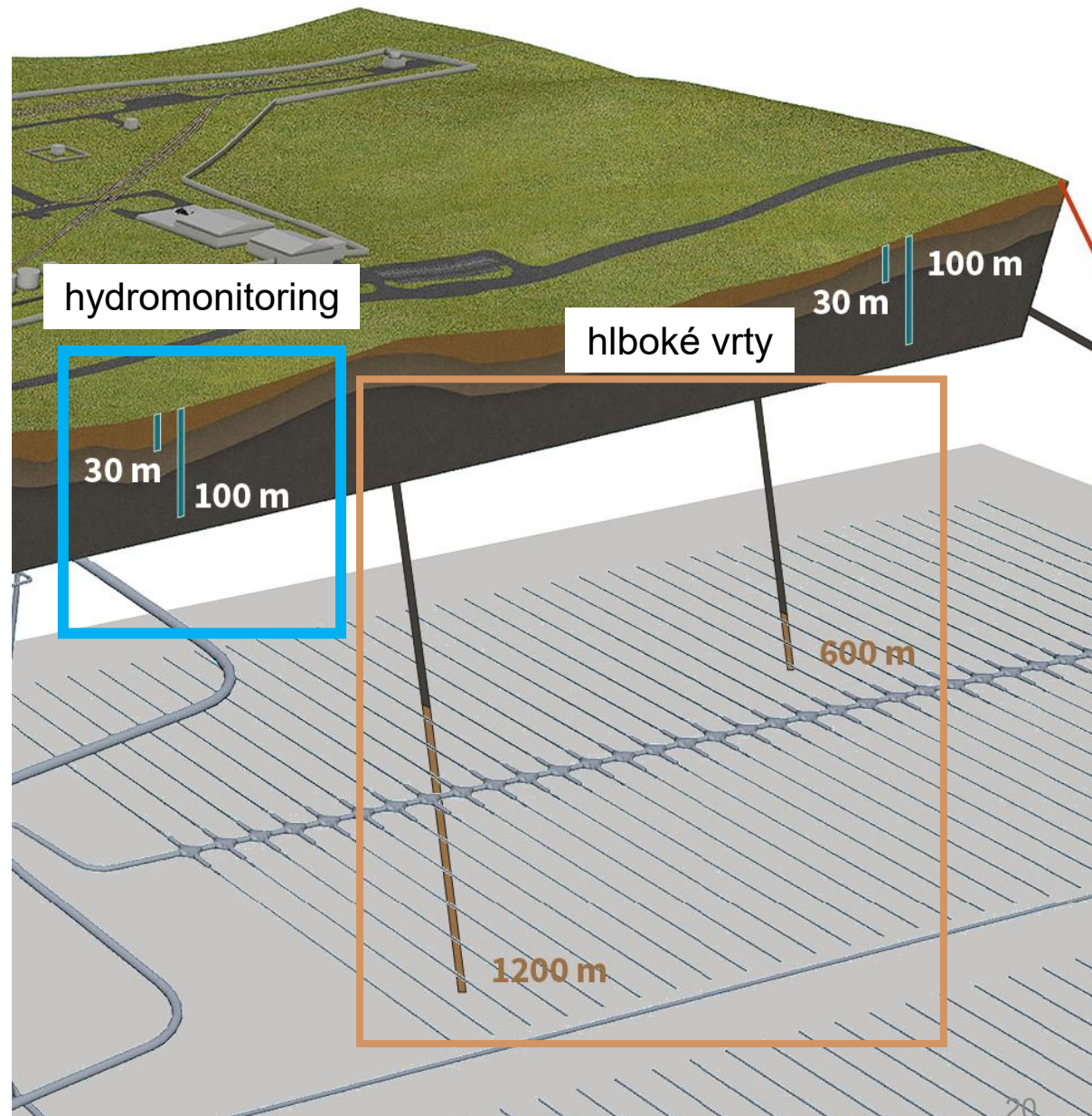
- Pramene vody
- Existujúce studne a vrty (napr. používané na zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou)
- **Nové monitorovacie vrty (5-7 „dvojčiat“ na lokalitu, 30-100 m hlboké),** umiestnené na zlomovej zóne/tektonickej poruche a pod.

Monitorovanie množstva podzemnej vody

- Budú používané dáta logery so záznamom každých 10 minút na odosielanie meraní v každom vrte/studni (ak bude kvalita vrtu vhodná)
- Pramene vody budú merané ručne 4-krát ročne

Monitorovanie kvality

Ca Mg Na K Mn Fe NH₄⁺ SO₄²⁻ Cl⁻ NO₃⁻ NO₂⁻ F⁻ KNK
4,5 PO₄²⁻ ZNK 8,3 HCO₃⁻ CO₃²⁻ pH Eh ChSK Mn SiO₂
P TOC DOC α žiarenie β žiarenie Ra U Rn Th T voda



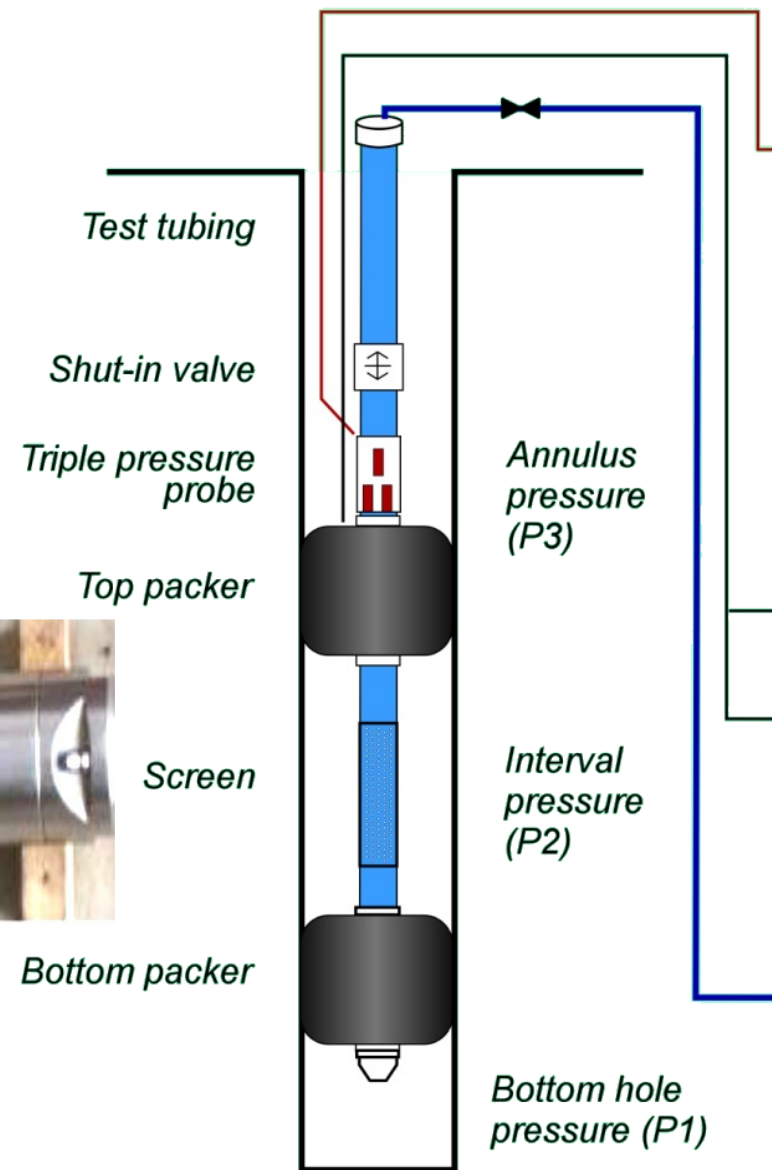
Hydrogeochemický monitoring

- **Špeciálna analýza** – V prípade potreby budú vykonané špeciálne analýzy – pre **vek vody**, bór, ^{134}Cs , ^{137}Cs , izotopy kyslíka, vodíka, uhlíka a dusičnanov, tritium, SF6 a freóny (11, 12, 113)
- Bakteriologické analýzy za účelom kvalifikácie a kvantifikácie biodiverzity a určenia bakteriálneho zloženia podzemnej vody
- Existujúce odbery vzoriek môžu byť rozšírené o **zónové odbery** z rôznych hĺbok monitorovacích vrtov.



Hydrogeologický výskum v hlbokých vrtoch

- Na každej lokalite sú plánované v rámci vrtnej kampane vrty o hĺbkach 600 a 1200 metrov.
- V každom vrte prebehnu hydrodynamické skúšky multipackrovým systémom
- Plánované aj zonálne odbery – počet závisí od in situ podmienok vo vrte



A perspective view of a long, dimly lit tunnel. The tunnel walls are lined with corrugated metal, and the floor is covered with gravel and railway tracks. Overhead, there are large pipes and a blue metal structure. The tunnel recedes into the distance, illuminated by a series of lights.

Ďakujem za pozornosť