



Hodnocení potenciálních lokalit z hlediska geologických a geodynamických indikátorů

Jaroslava Pertoldová, Tomáš Hroch, Jan Franěk a kolektiv

Česká geologická služba



Zadání

zhodnocení lokalit na základě geologických indikátorů a možného výskytu geodynamických jevů, které mohou negativně ovlivnit dlouhodobou bezpečnost úložiště, dle SURAO - MP 22 a na základě vyhlášky SÚJB 378/2016 Sb.

(za využití archivních materiálů a nových geologických poznatků)



Geologická kritéria





Vylučující geologická kritéria – na základě vyhlášky SÚJB 378/2016 Sb.

- Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků

Geologické podmínky v úložišti musí umožnit připravit důvěryhodný geologický model. Hloubkový dosah masivu musí být dostatečný s ohledem na umístění úložiště.

- Variabilita fyzikálních a geochemických vlastností horninového prostředí

Variabilita vlastností horninového prostředí v úložišti musí umožnit připravit důvěryhodný geologický model.

Získané informace o posuzovaném parametru na všech lokalitách nevedou k závěru, že umístění úložiště je zakázáno.



Postup hodnocení

1. **Nastavení kritérií** a geologických **indikátorů**
2. **Přiřazení vah** jednotlivým geologickým indikátorům
3. **Podrobný popis** geologických indikátorů
4. **Komplexní zhodnocení vybraných lokalit** na základě geologických parametrů za využití archivních materiálů a nových geologických, hydrogeologických a geofyzikálních dat získaných v rámci projektu „Geologická interpretace terénních geofyzikálních dat pro aktualizaci 3D strukturně geologických modelů potenciálních lokalit HÚ“
5. **Kvantifikace geologických indikátorů** na jednotlivých lokalitách a jejich porovnání.



Porovnávací geologická kritéria

1. Nastavení kritérií a geologických indikátorů

	Kritérium	Indikátor (geologický parametr)	
K3	Popsatelnost a predikovatelnost horninových bloků	Stupeň křehkého porušení masivu-zlomové struktury	K3a
		Stupeň křehkého porušení masivu-puklinové systémy	K3b
		Stupeň duktilní deformace	K3c
K4	Variabilita vlastností prostředí	Prostorová variabilita horninového prostředí	K4a
		Petrologická variabilita hornin	K4b

2. Přiřazení vah (celkový součet vah pro dané kritérium je 100)

Indikátor (geologický parametr)	Váha	Polygon
Stupeň křehkého porušení masivu-zlomové struktury	70	strukturní schéma území 3D strukturně-geologického modelu
Stupeň křehkého porušení masivu-puklinové systémy	20	území DFN modelu, území 3D strukturně-geologického modelu
Stupeň duktilní deformace	10	Perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí
Prostorová variabilita horninového prostředí	75	Perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí
Petrologická variabilita hornin	25	Perspektivní území pro projektové práce a blízké okolí

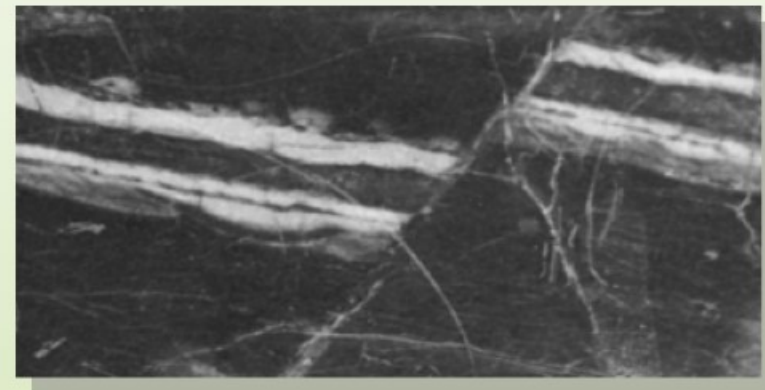
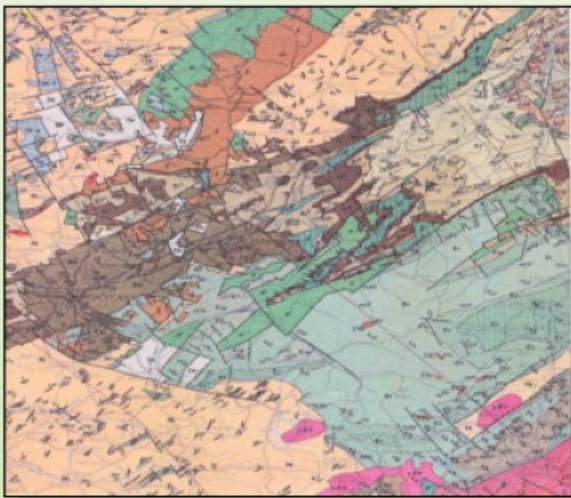


Porovnávací geologická kritéria

3. Definice geologických indikátorů

K3a - Stupeň křehkého porušení – zlomové struktury (70%)

Charakterizuje míru křehkého tektonického porušení s indikátory pohybu. Zlomy představují významná mechanická oslabení horninového prostředí. Bývají doprovázeny puklinovými systémy, hydrotermálními alteracemi, kataklastickými zónami.



Příklad zlomové plochy s pohybovými indikátory a jejich možný odraz v mapě

Zlomy mají největší vliv na bezpečnost úložiště (hydraulické a geomechanické parametry)

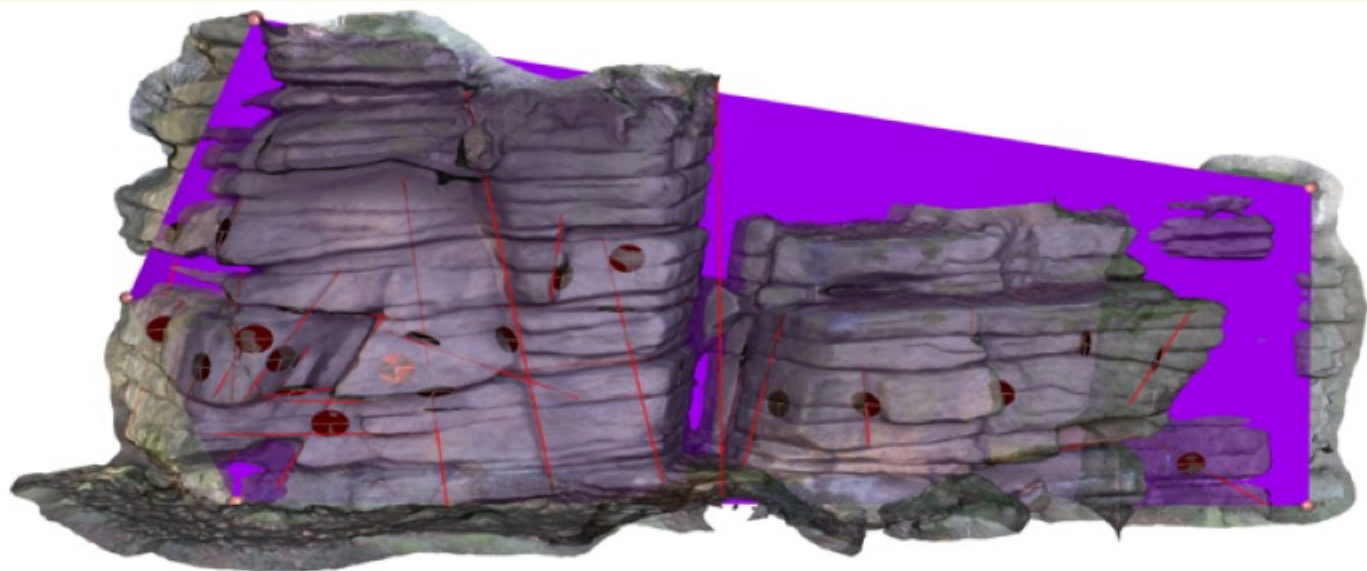


3. Definice geologických indikátorů

K3b - Stupeň křehkého porušení – puklinové systémy (20%)

Odráží četnost zjištěných puklinových systémů a hustotu puklinové sítě. Lokality s DFN modelem – hodnocení dle P21 (souhrnná délka stop puklin na jednotku plochy).

Příklad 3D modelu horninového výchozu s proloženou rovinou, strukturními měřeními a stopami puklin



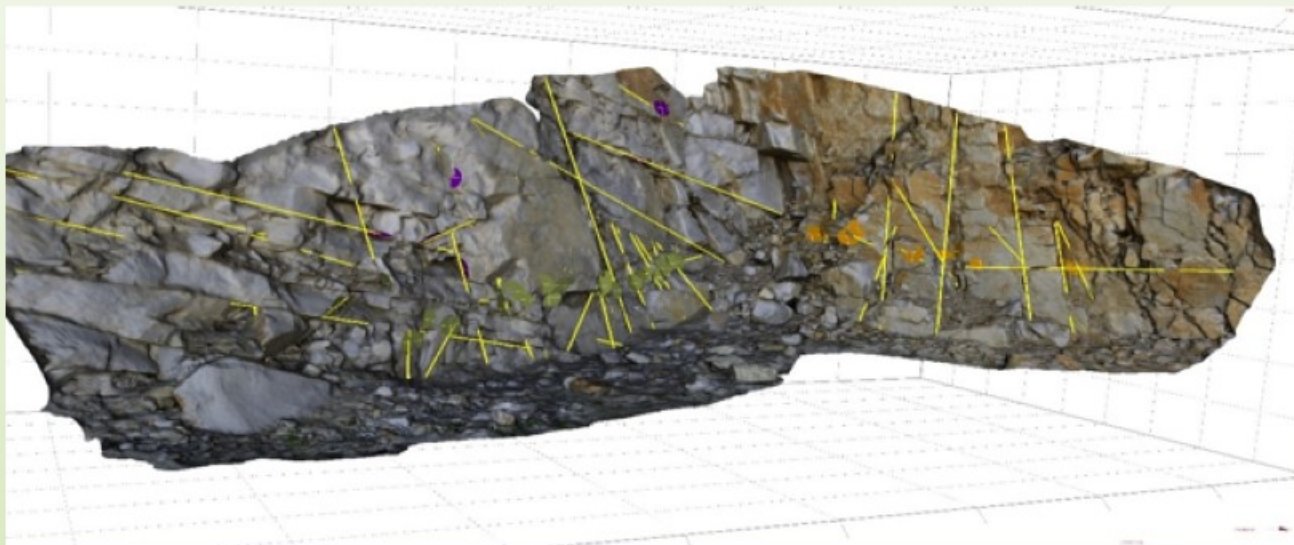
Pro zpřesnění informací o hloubkovém průběhu puklinové sítě je třeba využít technických prací. Aktuálně je výzkum limitován na povrchové horninové výchozy.



Příklady

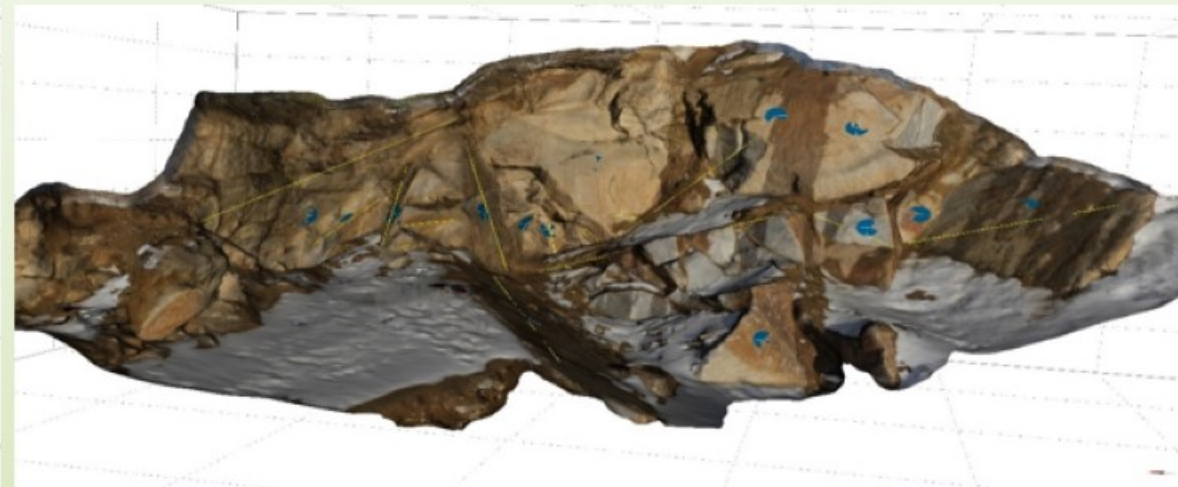
K3b - Stupeň křehkého porušení – puklinové systémy (20%)

Čihadlo $P_{21}=1.51 \text{ m/m}^2$



Rozpukání v ploše celé lokality

Čertovka $P_{21}=0,67 \text{ m/m}^2$



Puklinové zóny vázány převážně
na průběh zlomových struktur



Porovnávací geologická kritéria

3. Definice geologických indikátorů

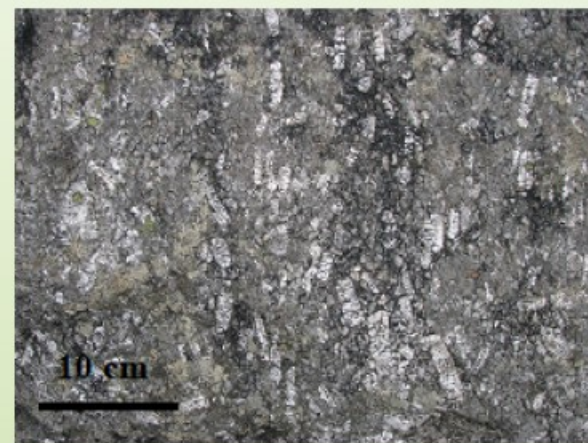
K3c - Stupeň duktilní deformace (10%)

Charakterizuje lokalitu z hlediska duktilních deformačních staveb



Vnitřní anizotropie hornin

Míra, intenzita a charakter uspořádání jednotlivých minerálů v hornině a jejich superpozice



Duktilní anizotropie hornin má relativně omezený vliv na bezpečnostní charakteristiky prostředí

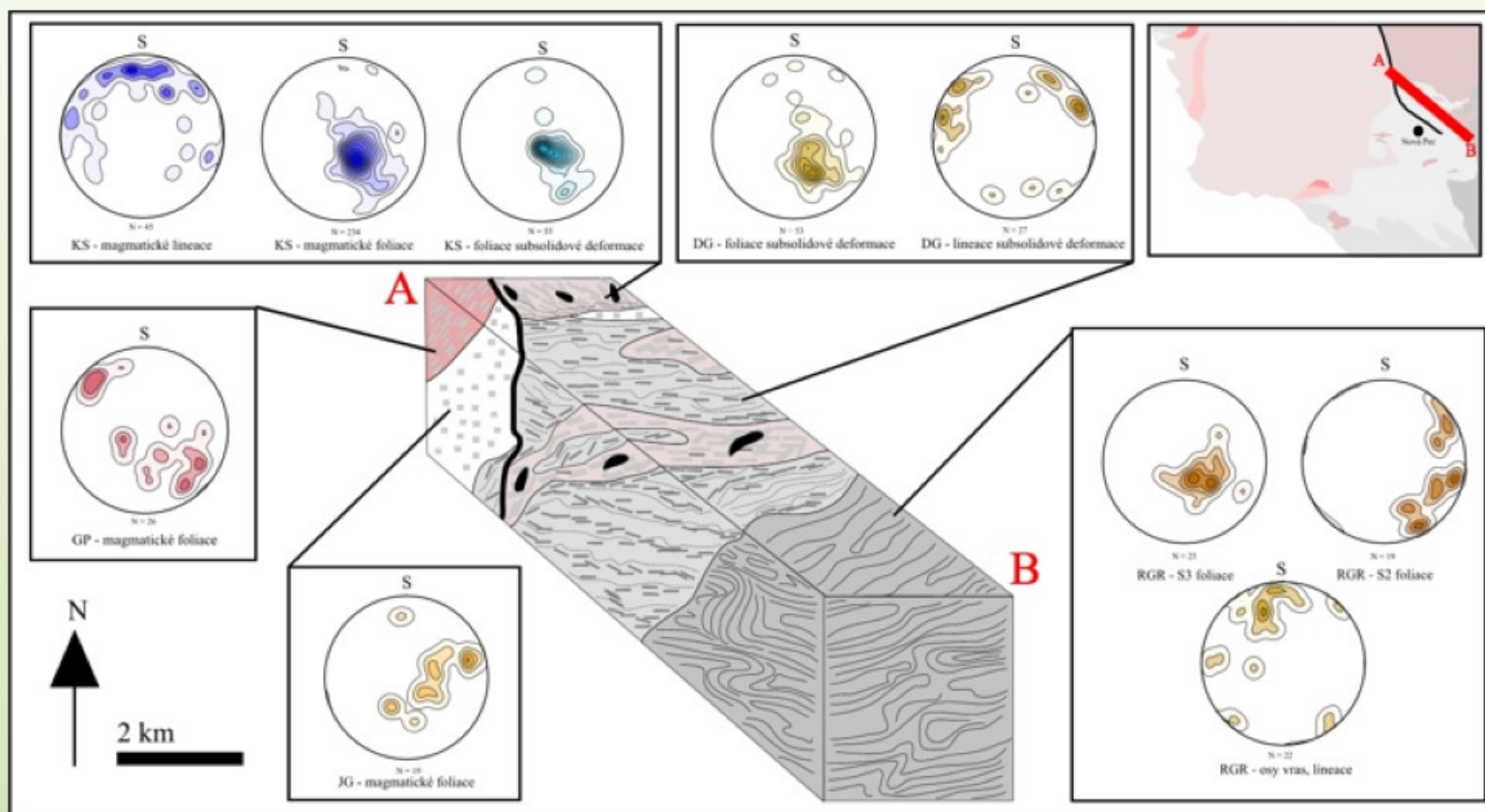


Porovnávací geologická kritéria

3. Definice geologických indikátorů

K4a - Prostorová variabilita horninového prostředí (75%)

Popisuje prostorové uspořádání horninových těles, jejich tvary a geometrické vztahy.



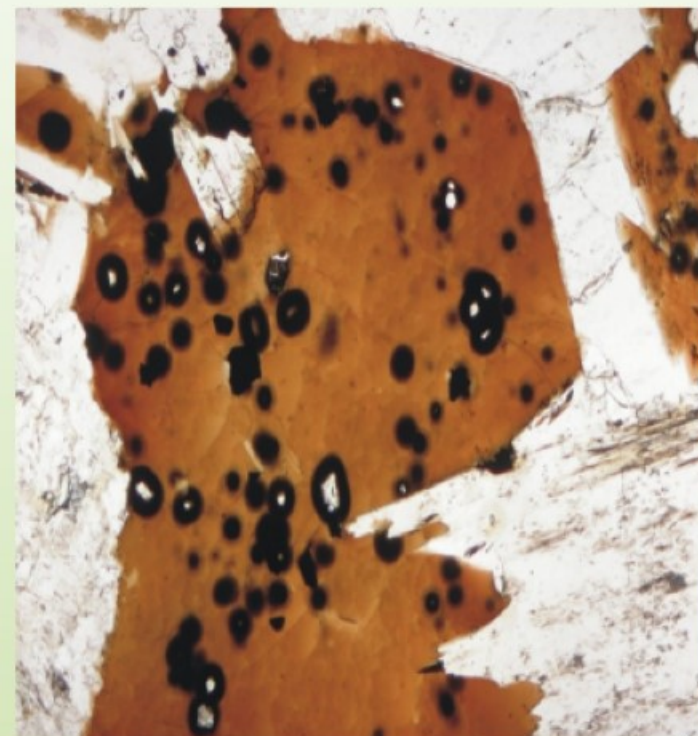
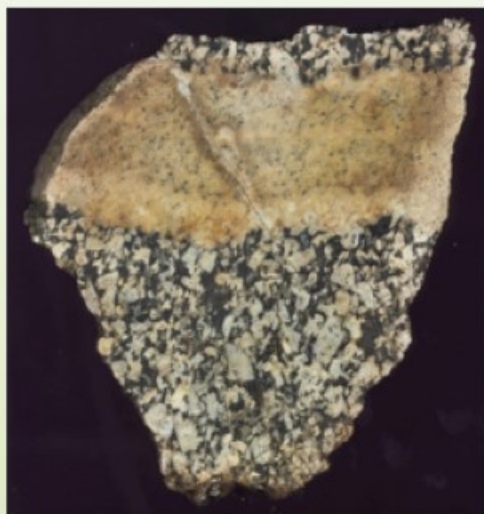
Vyjadřuje vertikální i horizontální distribuci na základě které lze uvažovat o nehomogenitě horninového prostředí ve kterém může dojít ke změnám migrace fluid.



3. Definice geologických indikátorů

K4b - Petrologická variabilita hornin (25%)

Indikuje míru homogenity horninového prostředí - tzn. zastoupení horninových litologií, jejich minerální složení a texturní vlastnosti.





Porovnávací geologická kritéria

4. Komplexní zhodnocení vybraných lokalit

- Pro hodnocení lokalit z pohledu vhodnosti pro umístění HÚ RAO je použita klasifikace geologických charakteristik, a to s využitím definovaných geologických indikátorů.
- Důraz při klasifikaci ve stupnici 1 – nejlepší až 5 – nejhorší je kladen na:
(a) zhodnocení indikátorů jednotlivých kritérií na lokalitě a jejich vzájemného srovnání a (b) na expertní zkušenosti a znalosti členů expertního týmu.
- Hodnoty 1–5 tak odrážejí komplexní srovnání všech geologických indikátorů na devíti studovaných lokalitách.

Pozn. Hodnota 1 je svým významem lepší než hodnota 5, nicméně neznamená to, že hodnota 1 odpovídá nejlepšímu možnému stavu a hodnota 5 lokalitu vyřazuje.



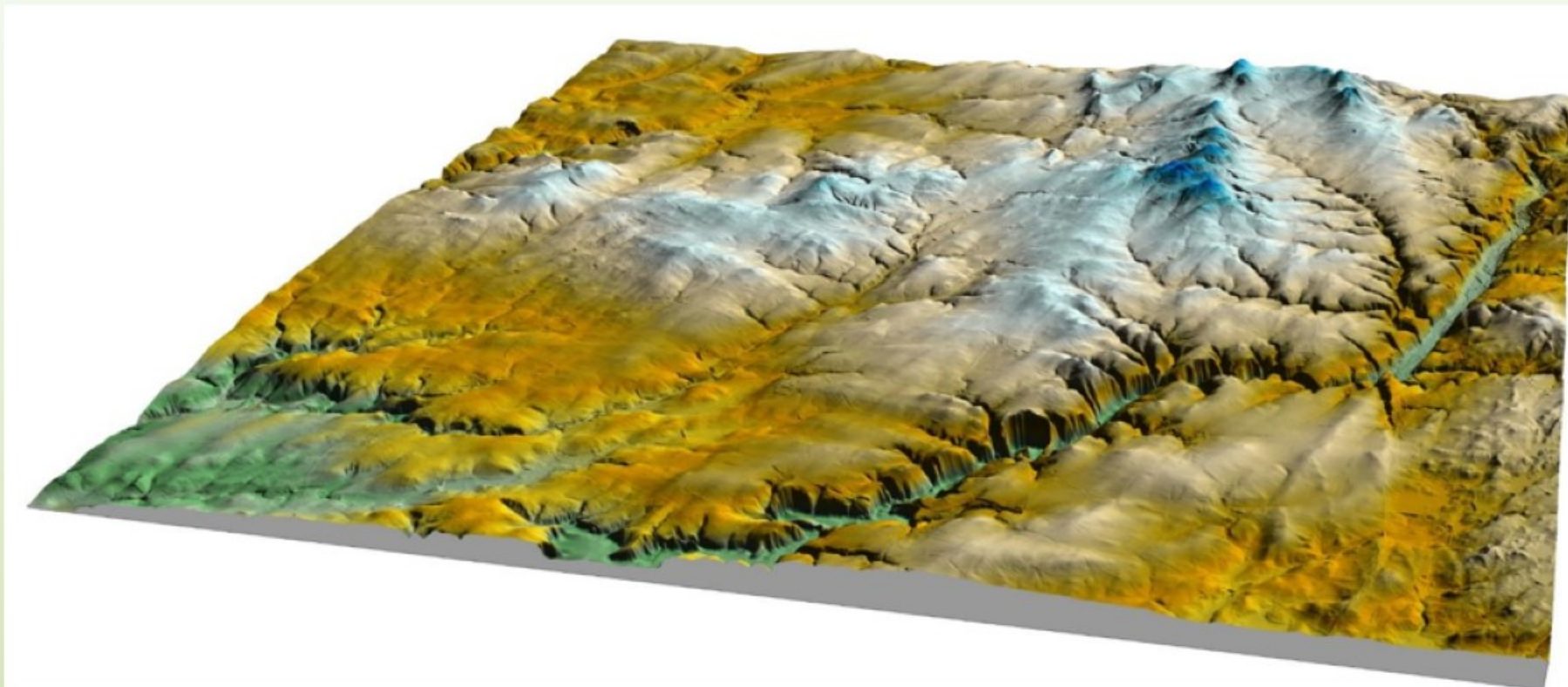
5. Kvantifikace geologických indikátorů

Výsledné expertní zhodnocení geologických indikátorů na jednotlivých lokalitách a jejich porovnání

Kritérium				Indikátor		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	
Ozn.	Název		Váha	Název	Váha	Březový potok	Čertovka	Čihadlo	EDU-západ		Horka	Hrádek	Kravi hora	Magdaléna	ETE-jih
						hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení	hodnocení
K3	Popsatelnost a predikovatelnost homogenních bloků	3a	70%	Stupeň křehkého porušení-zlomové struktury	70%	3,5	3,3	3,8	3,9	2,8	2,3	5	3,5	2	
		3b	20%	Stupeň křehkého porušení-puklinové systémy	20%	3,3	2,4	4	3	3	3,3	3,1	3	3,2	
		3c	10%	Stupeň duktilní deformace	10%	1,2	1,5	1	2	2	1	5	1,5	4	
Celkem K3						100%									
K4	Variabilita geologických vlastností	4a	75%	Prostorová variability horninového prostředí	75%	2,1	3	2	2	1,2	1	5	3,7	2,2	
		4b	25%	Petrologická variabilita hornin	25%	2,1	2,2	2	2,5	1	1,4	5	2	2,3	
Celkem K4						100%									



Geodynamická kritéria





- **Zemětřesení a přítomnost potenciálně aktivních zlomů pro období statisíců let.**
 - *Posouzení potenciálně aktivních zlomů v okolí lokalit*
- **Pokles nebo výzdvih povrchu území (vertikální pohyby zemské kůry) přesahující rychlost 1 mm/rok**
 - *Rešerše dat o datování povrchů a porovnání dat o stáří jednotlivých úrovní zachovaných akumulací říčních teras*
- **Výskyt postvulkanických jevů**
 - *Analýza dostupných archivních geologických studií, mapových a geofyzikálních podkladů*

Z hlediska geodynamických charakteristik nebyl zjištěn důvod pro vyloučení ani jedné zkoumané lokality z dalšího výběru pro umístění úložiště.



Postup hodnocení

1. **Nastavení kritérií**, definice geodynamických indikátorů a způsob hodnocení
2. **Přiřazení vah** geodynamickým indikátorům
3. **Kvantifikace indikátorů** na jednotlivých lokalitách a jejich porovnání.



1. Nastavení kritérií, definice geodynamických indikátorů a způsob hodnocení

K7a Hodnota maximálního horizontálního zrychlení

Náplň indikátoru:

Hodnota maximálního horizontálního zrychlení pro seismické jevy (tato hodnota je přímo úměrná projevům zemětřesení)

Způsob hodnocení:

Byla porovnávána pro 50 % pravděpodobnost výskytu jevu a dobou opakování 10^5 let,



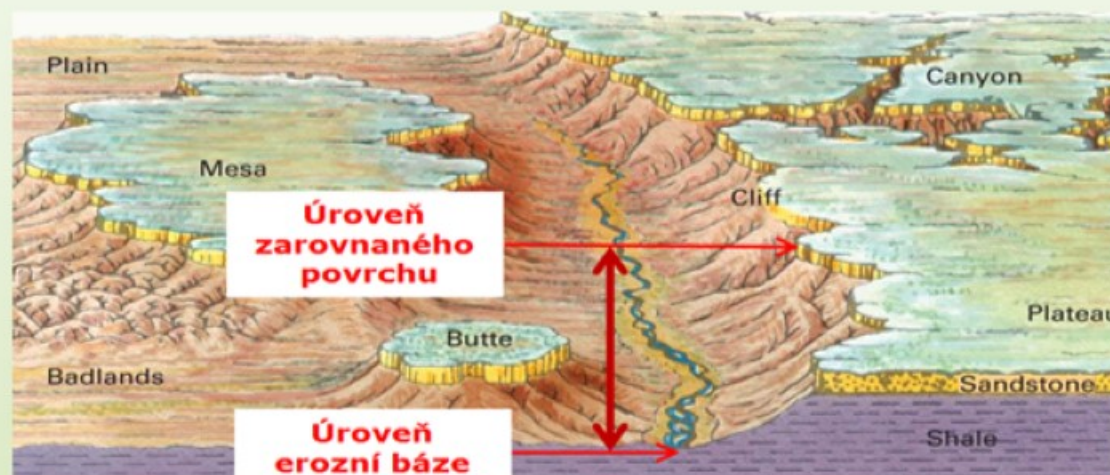


1. Nastavení kritérií, definice geodynamických indikátorů a způsob hodnocení

K7b Výškový gradient

Náplň indikátoru:

Výškový gradient vyjadřuje rozdíl mezi úrovní zarovnaných povrchů a úrovní lokální erozní báze. Vyšší výškový rozdíl předurčuje výraznější potenciál k zahlužení drenážního systému a s tím souvisejících změn v reliéfu s dopadem na hydrologické a hydrogeologické vlastnosti území (čím menší výškový rozdíl, tím příznivější hodnota).



Způsob hodnocení: Hodnoty výškového gradientu byly stanoveny na základě geomorfologické a morfotektonické analýzy digitálního modelu reliéfu a leteckých snímků. V rámci této analýzy byly na lokalitách stanoveny jednotlivé výškové úrovně zarovnaných povrchů a erozních bází.



1. Nastavení kritérií, definice geodynamických indikátorů a způsob hodnocení

K7c Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného zpětnou erozí

Náplň indikátoru: Výrazné projevy zpětné eroze indikují nevyrovnané spádové poměry říčních toků. Ty mohou být způsobeny pohyby erozní báze, resp. vertikálními pohyby zemské kůry a mají za následek intenzivní zahlubování drenážního systému. Místa postižená zpětnou erozí vykazují vyšší intenzitu povrchových procesů (říční eroze, svahové pohyby, změny v drenážním systému).



Způsob hodnocení: Území ovlivněné procesy zpětné eroze byla vymezena na základě geomorfologické a morfotektonické analýzy digitálního modelu reliéfu a leteckých snímků. Následně byl vypočten celkový procentuální podíl této plochy vůči celkové ploše hodnoceného území.



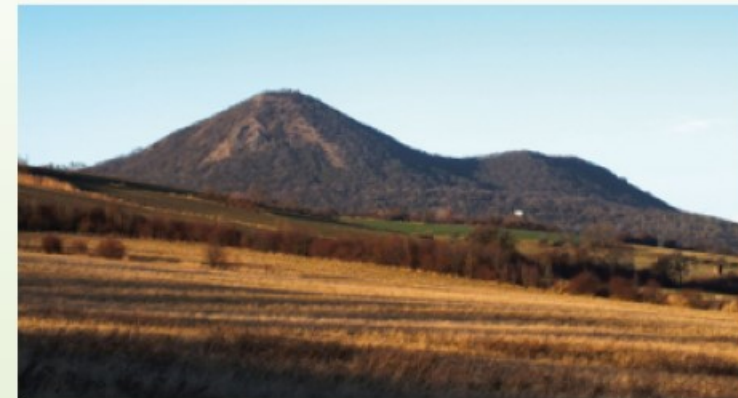


1. Nastavení kritérií, definice geodynamických indikátorů a způsob hodnocení

K7d Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek

Náplň indikátoru: Přítomnost terciérních a kvarterních vulkanických hornin a souvisejících postvulkanických jevů jsou vázány na oblasti s nedávnou geodynamickou aktivitou včetně tektonických pohybů a jsou indikátorem dlouhodobé stability území. Výskyt kyselek v okolí lokality může mít negativní vliv na inženýrské bariéry uložistě. Pro výskyt jevu je uvažován výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a výskyt kyselek.

Způsob hodnocení: Hodnocení proběhlo na základě dostupných archivních geologických a hydrogeologických studií, mapových a geofyzikálních podkladů.





2. Vybrané indikátory a stanovení vah pro porovnání lokalit

Indikátory a jejich váhy byly stanoveny na základě odborného posouzení expertního týmu, kde byla zhodnocena významnost kritéria z hlediska dlouhodobé bezpečnosti HÚ.

Seismická a geodynamická stabilita		Název indikátoru	Váha
K7	K7a	Maximální hodnota horizontálního zrychlení	25%
	K7b	Výškový gradient	25%
	K7c	Podíl plochy reliéfu postiženého mladými cykly zpětné eroze	25%
	K7d	Výskyt vulkanických hornin paleogenního až holocenního stáří a kyselek	25%



1. Kvantifikace indikátorů na jednotlivých lokalitách a jejich porovnání

Převod hodnocení na známky

Indikátory *K7a*, *K7b* a *K7c* představují kvantitativní hodnoty vyjadřující danou vlastnost konkrétním číslem. Vlastní proces hodnocení vychází ze vzájemné relativního srovnání devíti studovaných lokalit, kdy hodnota 1 reprezentuje lokalitu s relativně nejlepší příležitostí plnit potřebné bezpečnostní funkce a hodnota 5 lokalitu s relativně nejhorší příležitostí plnit potřebné bezpečnostní funkce. Vždy platí, že krajní hodnoty z devíti údajů indikátoru (minimum a maximum) nabývají známku 1, respektive 5. Mezilehlé hodnoty indikátoru jsou převáděny na známku na základě stanovení střední hodnoty (mediánu) a vzdálenosti hodnot ve vztahu ke střední hodnotě a krajním hodnotám.

Indikátor *K7d* patří do skupiny kvazilogických indikátorů vyjadřující (ne)existenci jevu. Toto vyjádření bylo převedeno na hodnoty, kde hodnota 1 vyjadřuje lokalitu, kde přítomnost/nepřítomnost jevu představuje pozitivní faktor pro bezpečnostní funkce úložiště a hodnota 5 vyjadřuje lokalitu, kde přítomnost/nepřítomnost jevu představuje negativní faktor pro bezpečnostní funkce úložiště.



1. Kvantifikace indikátorů na jednotlivých lokalitách a jejich porovnání

Výsledky zhodnocení indikátorů na lokalitách a jejich porovnání

Indikátor	K7a (horizontální zrychlení)		K7b – výškový rozdíl		K7c – Procentuální podíl plochy reliéfu postiženého a přetvořeného zpětnou erozí		K7d Výskyt vulkanitů a kyselých	
	hodnota	známka	hodnota	známka	hodnota	známka	hodnota	známka
Lokalita	hodnota	známka	hodnota	známka	hodnota	známka	hodnota	známka
Březový potok	1,21 m.s ⁻²	2,2	125 m	1,0	5 %	1,0	ne	1,0
Čertovka	2,04 m.s ⁻²	5,0	230 m	4,1	60 %	4,4	ano	5,0
Čihadlo	1,59 m.s ⁻²	3,6	150 m	3,0	11 %	1,8	ne	1,0
Horka	1,26 m.s ⁻²	2,3	210 m	3,9	20 %	3	ne	1,0
Hrádek	0,95 m.s ⁻²	1,0	240 m	4,4	15 %	2,1	ne	1,0
Janoch (ETE-J)	1,61 m.s ⁻²	3,8	150 m	3,0	30 %	3,4	ne	1,0
Kraví hora	1,33 m.s ⁻²	3	300 m	5,0	85 %	5,0	ne	1,0
Magdaléna	0,97 m.s ⁻²	1,1	150 m	3,0	20 %	3,0	ne	1,0
Na Skalním (EDU-Z)	1,46 m.s ⁻²	3,2	140 m	1,9	40 %	3,8	ne	1,0



Děkujeme za pozornost