

# Hydrogeologická kritéria pro výběr lokality pro hlubinné úložiště v ČR



RNDr. Martin Milický  
Ing. Jan Uhlík, Ph.D.  
Mgr. Michal Polák

# Témata prezentace

- ❖ **Hydrogeologické poměry a dlouhodobá bezpečnost HÚ**
- ❖ **Využití dat modelů proudění podzemní vody a transportu**
- ❖ **Vypořádání vylučujících kritérií** (legislativní požadavky, SÚJB, SÚRAO)
- ❖ **Hydrogeologické faktory ovlivňující bezpečnost úložiště**
- ❖ **Kritérium K5**
  - ✓ Objasnění indikátorů, implementace, váhy
- ❖ **Kritérium K6**
  - ✓ Objasnění indikátorů, implementace, váhy
- ❖ **Nejistoty - výhled - závěr**

# Hydrogeologické poměry a dlouhodobá bezpečnost HÚ

- ❖ **Dlouhodobá bezpečnost** – klíčový faktor výběru lokality HÚ
- ❖ **Bezpečnost** posuzována v souvislosti s **transportem radionuklidů** do biosféry
- ❖ K **transportu** radionuklidů dochází **na konci životního cyklu inženýrských bariér** (statisíce let)
- ❖ **Transport** radionuklidů horninovým prostředím podmíněn **prouděním podzemní vody**
- ❖ K **proudění** dochází především v plochách diskontinuit horninového masivu (**v puklinách**)

*„Hydrogeologické poměry (vlastnosti proudění a transportu) rozhodují **významně** o bezpečnosti lokality“*

# Dlouhodobá bezpečnost HÚ - využití hydrogeologických informací při posuzování vhodnosti lokalit

Hodnocení vhodnosti (a bezpečnosti) lokalit je spojeno s popisem proudění podzemní vody a transportu radionuklidů:

- **Do jakých míst?**
- **Po jak dlouhé době (jak rychle)?**
- **V jakém množství, respektive v jakých koncentracích?**

Předpovědi proudění a transportu umožňuje **matematický popis hydrogeologických poměrů**.

**Komplexní modelové výpočty budou** uplatněny v rámci:

- ❖ **bezpečnostního hodnocení (Safety Assessment - SA)**
- ❖ **komplexního popisu vývoje prostoru HÚ s cílem prokázat funkčnost inženýrských bariér i úložiště jako celku (Performance Assessment - PA)**

V současnosti jsou pro každou kandidátní lokalitu k dispozici model proudění podzemní vody a transportní model – zpracované z archivních dat.

# Legislativní kritéria vylučující situování HÚ z hlediska hydrogeologických poměrů

SÚJB (*§ 18 vyhlášky SÚJB č. 378/2016 Sb.*):

- *Roční dávka ozáření pod stanovenou optimalizační mezí 0,25 mSV*
- *Obtížná popsateľnost a predikovatelnost hydrogeologických poměrů*

*Podkročení dávkové optimalizační meze je při aktuální znalosti (množství vstupních dat) neprůkazné.*

SÚRAO (Vokál et al. 2017, MP22)

- *Zvodně v izolační části HÚ*
- *Obtížnost vytvoření důvěryhodného hydrogeologického modelu (nejistoty)*

- ❖ V horninách krystalinika se zvodně v projektové úrovni HÚ nevyskytují, s velmi slabou propustností bude horninový masiv přispívat k izolaci uložených odpadů
- ❖ Hydrogeologické modely byly vytvořeny pro všechny posuzované lokality bez výskytu zásadních překážek



*Vylučující kritéria proto nelze pro zúžení počtu lokalit využít.*

# Modely proudění podzemní vody a transportu radionuklidů - základní informace o hg. vlastnostech lokalit

## ❖ Etapy

- ✓ Regionální modely (ukončení 11.2016, verze 1.1)
- ✓ Detailní modely (konec roku 2018, verze 1.2)
- ✓ Aktualizované detailní modely (v průběhu roku 2019, verze 1.3) dle výsledků geofyzikálních prací zhodnocených in Mixa et al., 2019

## ❖ Týmové pojetí

- ✓ Metodické zadání  
- ✓ Rozdílné softwarové platformy (MODFLOW, Flow123d, FEFLOW)
- ✓ Paralelní ověření a analýza výsledků
- ✓ Finální verze modelů (1.3) založena na softwaru MODFLOW-USG

 TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Ústav pro nanomateriály, pokročilé  
technologie a inovace



***„Modelový popis hydrogeologických poměrů poskytuje potřebnou kvantifikaci a umožňuje vyhodnotit kvalitu vlastností (indikátorů) lokalit s vazbou na dlouhodobou bezpečnost.“***

# Hydrogeologické a transportní modely lokalit

## *Zpracovány pasporty regionálních i detailních modelů:*

- ❖ Proudění a transport popsáno pro **pole vzdálených interakcí**
- ❖ Vliv inženýrských bariér **není promítnut** do modelových výsledků
- ❖ Regionální rozloha modelů **zahrnuje** všechny potenciální **oblasti drenáže radionuklidů** z HÚ,
- ❖ Proudění popsáno s využitím konceptu porézního kontinua (EPM)
- ❖ Zadání propustnosti hornin podřízeno **cíli porovnání lokalit** => nejistá data pojednána ve všech modelech lokalit shodně
- ❖ **Transport popsán schematizovaně** pro nereagující, nesorbující, nerozpadající se obecný kontaminant (tracer) šířený výhradně vlivem advekce
- ❖ Aktuální poměry proudění v masivu považovány za blízké k poměrům po uzavření úložiště

# Uplatnění hydrogeologických indikátorů a kritérií při posuzování vhodnosti lokalit pro HÚ

## Proces zužování počtu lokalit – podle metodiky a harmonogramu SÚRAO –

- **Regionální geologická data** – vybráno 6 lokalit (granitické horniny) + rozšířeno o 2 oblasti JE a oblast Rožné – Kraví hora = **9 potenciálních lokalit**
- **Nereálné** z archivních dat **realizovat SA** (Safety Assessment) a **PA** (Performance Assessment)
- Pro **rozlišení a porovnání vhodnosti lokalit** z pohledu hydrogeologických vlastností jsou proto **vybrány doplňující hg. indikátory ovlivňující bezpečnost**
- **Vychází z požadavků na „příznivé“ hg. poměry lokalit z hlediska bezpečnosti**
- **Zvolené indikátory a kritéria vhodnosti K5 a K6 jsou stanoveny z výsledků numerických modelů proudění podzemní vody a transportu kontaminace**
- **Zvolené indikátory nemají legislativně stanoveny mezní hodnoty, provedeno je vzájemné (relativní) porovnání lokalit**



# Hydrogeologické faktory ovlivňující bezpečnost lokalit

**Proudění** (rychlost + průtok + vertikální složka v oblasti úložiště)

Požadavky: malá malý sestupná

**Propustnost** (horninového masivu + poruchových zón)

Požadavky: malá malá

**Poměr ředění**

Požadavky: co nejmenší

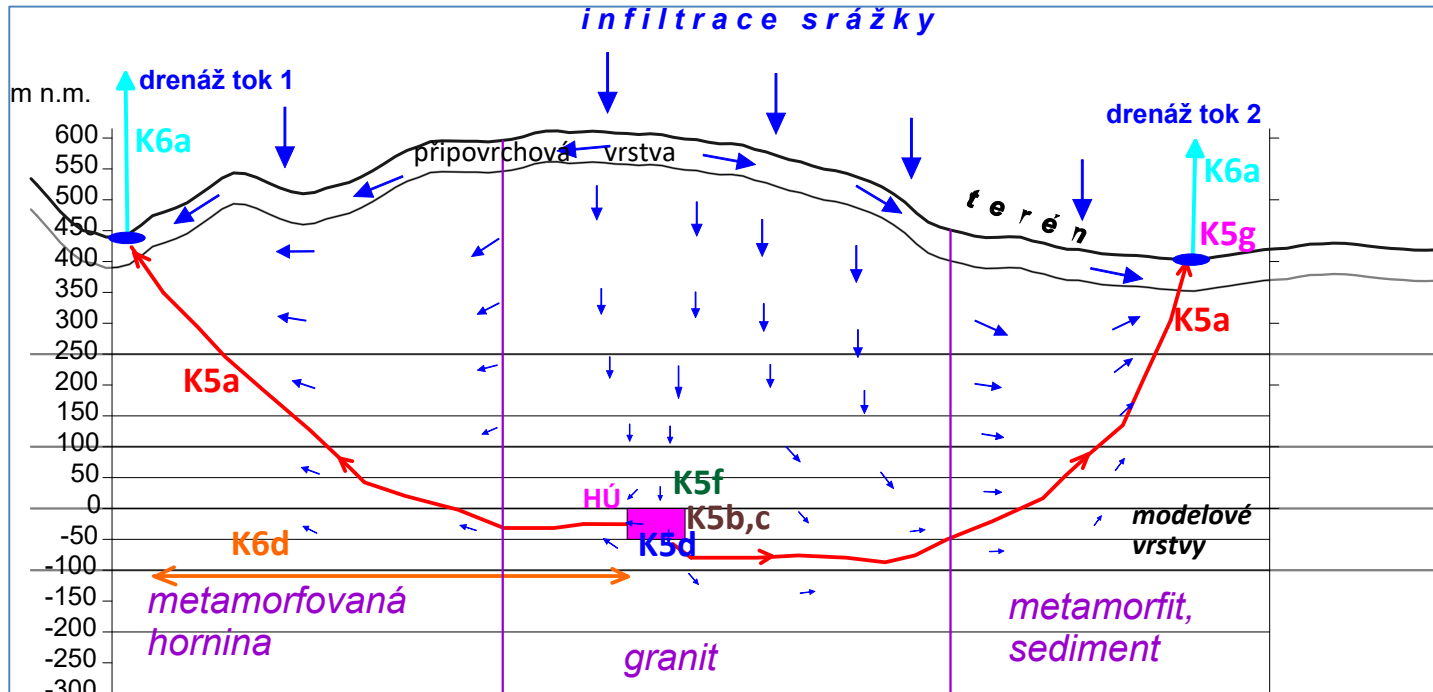
**Kritérium K5** Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky

**Drenážní báze** (vzdálenost od úložiště, rozptýlení do toků a povodí )

Požadavky: co největší obecně co největší

**Kritérium K6** Identifikace a umístění drenážních bází

# Schéma zavedení hydrogeologických indikátorů pro kritéria K5 a K6



**K5a - Doba dotoku do míst drenáže (roky)**

**K5b,c - Propustnost a rychlost proudění v prostoru HÚ**

**K5d - Sestupná složka (poměr plochy v % (z plochy HÚ), se sestupnou složkou proudění)**

**K5f - Specifický průtok (množství vody protékající prostorem HÚ)**

**K5g - Ředění radionuklidů (podíl max. koncentrací v připovrchové vrstvě a prostoru HÚ)**

**K6a - Drenáž do říční sítě (počet toků)**

**K6b,c - (množství vody z HÚ v %, které se drénuje do toku 1 nebo do toku 2)**

**K6d - horizontální vzdálenost okraje HÚ a nejbližšího místa drenáže**

**„Výběr finální lokality si vyžádá opakované zpřesnění modelů a jejich výstupů (indikátorů) ve vazbě na informace z průzkumných prací“**

# Implementace indikátorů kritéria K5 a K6

**Kritérium K5** Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky, **Indikátory:**

**K5a** .... Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže [roky], (dolní kvartil - 25%)

**K5b** .... Rychlost proudění v úrovni úložiště [m/rok] (maximum)

**K5c** .... Propustnost horniny v úrovni HÚ [m/s] (maximum)

**K5d** .... Sestupná vertikální složka proudění [% úložné plochy HÚ]

**K5e** .... Propustnost poruchových zón [m/s] (do 500m od HÚ, maximum)

**K5f** .... Specifický průtok úložným prostorem HÚ [l/s/km<sup>2</sup>]

**K5g** .... Poměr ředění radionuklidů [%] (poměr koncentrací:  
povrch/úložiště)

**Kritérium K6** Identifikace a umístění drenážních bází, **Indikátory:**

**K6a** .... Počet drenážních toků [počet]

**K6b** .... Dominantní recipient [%], (tok s největší drenáží z HÚ)

**K6c** .... Dominantní drenážní povodí [%], (povodí s největší drenáží z HÚ)

**K6d** .... Horizontální vzdálenost okraje HÚ od místa drenáže [m]



# Přiřazení vah indikátorů kritéria K5

## K5 Charakteristika proudění vody v okolí úložiště a transportní charakteristiky:

**Váhy** indikátorů přisouzeny na základě diskuse v expertním panelu, nižší váhy obecně více nejistým výsledkům

Kritérium K5 obsahuje indikátory popisující:

- **Proudění** (propustnosti, rychlost a směr proudění, průtok), **váha 60%**
  - *Propustnosti a rychlost proudění v oblasti HÚ (K5b,c,e) mají váhu 3 \* 10%*
  - *Sestupná složka proudění a průtok úložištěm (K5d,f) mají váhu 2 \* 15%*
- **Transport** (poměr ředění, doba dotoku), **váha 40%**
  - *Doba dotoku i poměr ředění (K5a,g) mají shodnou váhu 2 \* 20%*

# Přehled vah indikátorů kritéria K5

<b>K5</b> charakteristika proudění podzemní vody a transportu	Rychlost proudění v úrovni úložiště ( $\text{m.rok}^{-1}$ )	<b>10</b>	K5b	<b>60%</b>	<i>proudění</i>
	Propustnost horniny v úrovni HÚ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	<b>10</b>	K5c		
	Maximální propustnost zón do 500 m od hranice HÚ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	<b>10</b>	K5e		
	Sestupná vertikální složka proudění (% úložné plochy HÚ)	<b>15</b>	K5d		
	Specifický průtok úložným prostorem HÚ ( $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ )	<b>15</b>	K5f		
	Doba dotoku z HÚ do oblasti drenáže (roky)	<b>20</b>	K5a	<b>40%</b>	<i>transport</i>
	Poměr ředění radionuklidů (%)	<b>20</b>	K5g		

# Přiřazení vah indikátorů kritéria K6

## K6 Identifikace a umístění drenážních bází:

**Váhy** indikátorů присouzeny na základě diskuse v expertním panelu, nižší váhy obecně více nejistým výsledkům

Kritérium K6 obsahuje indikátory popisující:

- **Rozptyl transportních cest do drenážních bází** (počet toků, dominantní recipient a povodí), **váha 70%**
  - Počet toků (K6a) má váhu 30%
  - Dominantní recipient (K6b) má váhu 20%
  - Dominantní drenážní povodí (K6c) má váhu 20%
- **Vzdálenost drenáže od HÚ**, **váha 30%**

K6 umístění drenážních bází	Počet drenážních toků	30	K6a	70%	rozptyl drenáže
	Dominantní recipient (% plochy HÚ)	20	K6b		
	Dominantní drenážní povodí (% plochy HÚ)	20	K6c		
	Horizontální vzdálenost HÚ od místa drenáže (m)	30	K6d	30%	vzdálenost

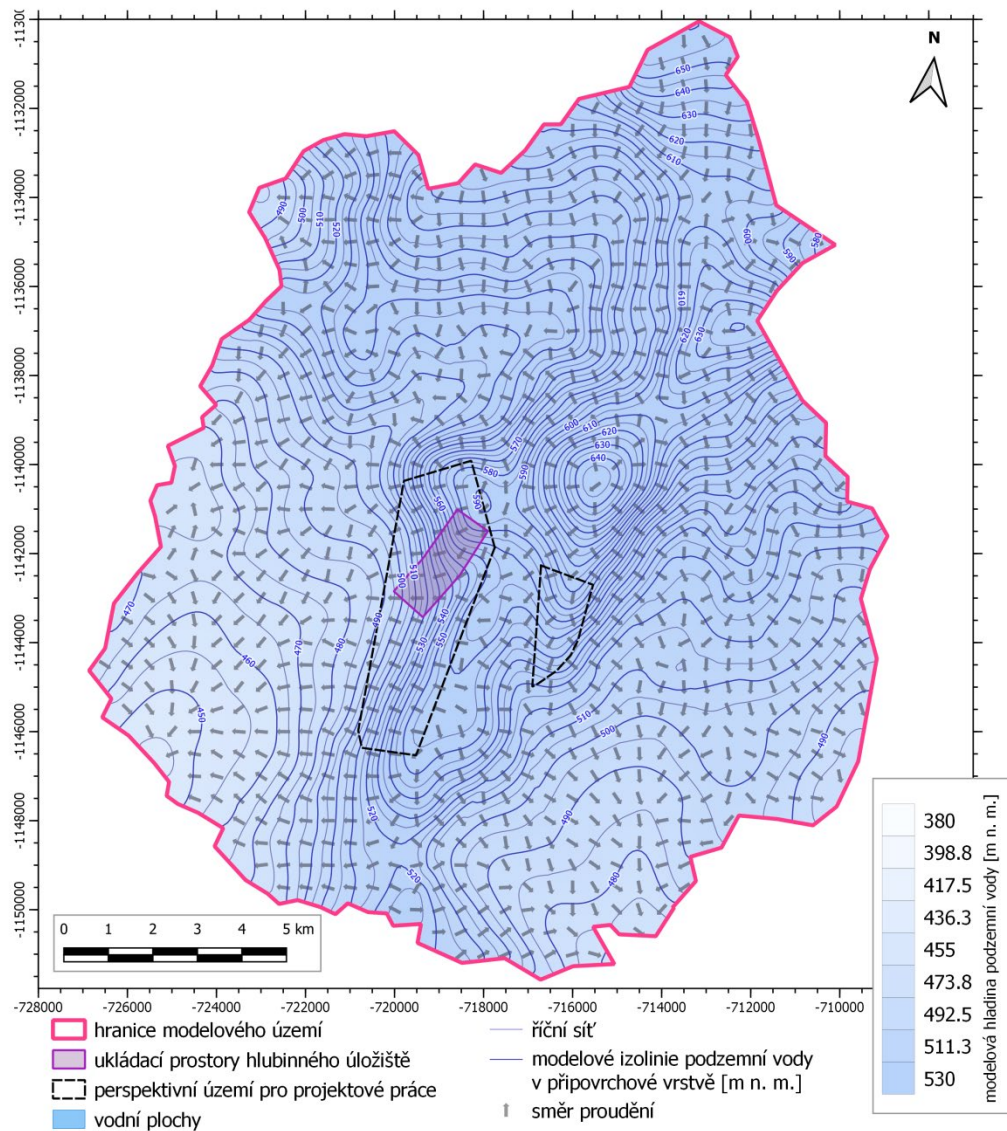
# Nejistoty, výhled, závěr

***Modelový popis hydrogeologických poměrů má významnou roli při posuzování bezpečnosti lokality hlubinného úložiště. Je nezbytné k výsledkům modelů přihlížet již v období výběru lokality.***

- Aktuálně dostupná data umožňují lokality vzájemně porovnat.
- Komplexnější informace o hydrogeologických poměrech přinesou další průzkumné práce.
- Klíčem ke zpřesnění hydrogeologických poměrů jsou informace k proudění, propustnost a rozpukání horninového masivu.
- Zavedená kritéria a indikátory je možné využít i v dalších etapách výběru finální a záložní lokality; další zúžení počtu lokalit (ze 4 na 2) bude pravděpodobně lokality porovnávat již na podkladě bezpečnostních studií, ve kterých budou informace o hydrogeologických poměrech patřičně využity.

**Děkuji za pozornost.**

# Postup modelových výpočtů a stanovení indikátorů



Základem výpočet:

- ❖ tlakového pole proudění
- ❖ velikosti a směrů proudění podzemní vody

Doplněním údajů pórovitosti:

- ❖ získány rychlosti proudění

Drenážní oblasti identifikovány:

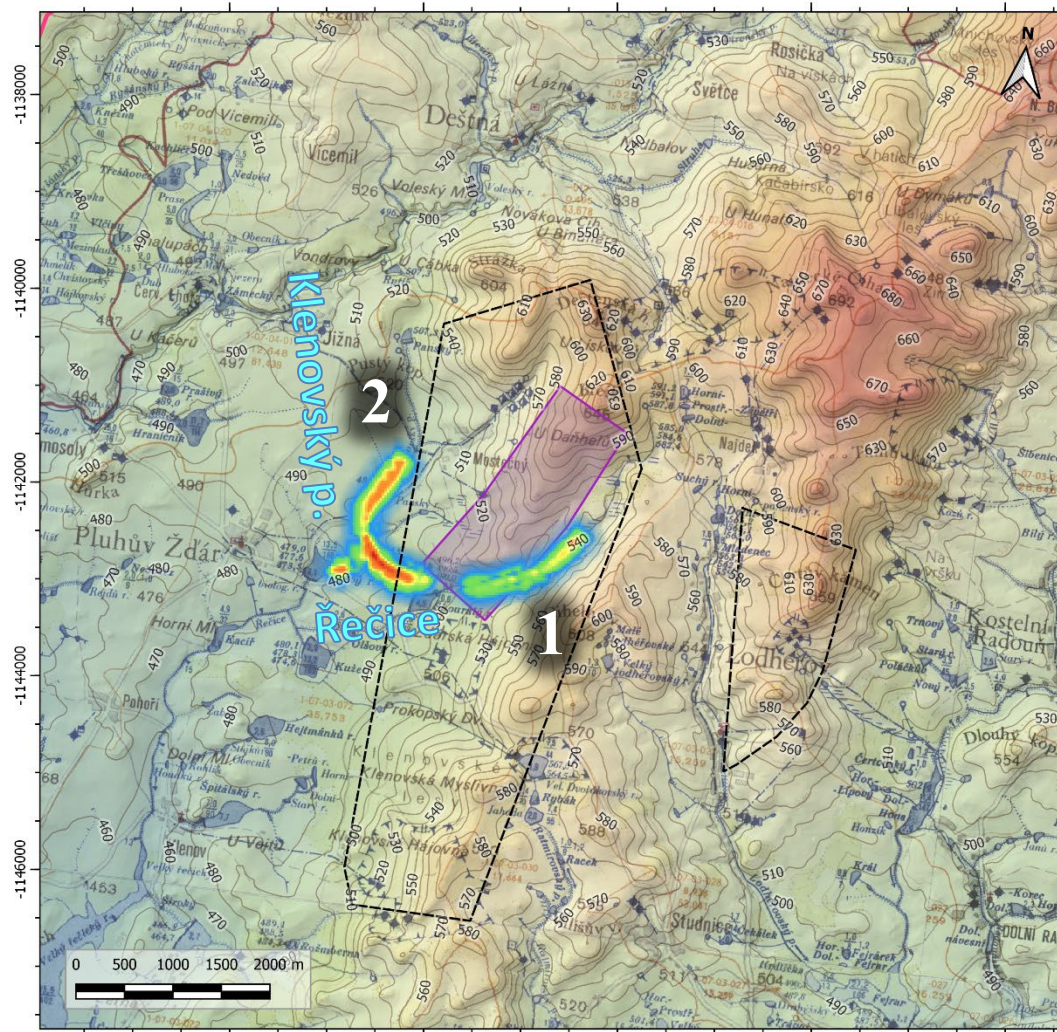
- ❖ pomocí výpočtů particle tracking

Ředění stanoveno:

- ❖ schematizovaným výpočtem transportu konzervativního stopovače vlivem proudění podzemní vody



# Lokalita Čihadlo, metodika evaluace indikátorů K6



**6a:** 2 drenážní toky (Klenovský p. a Řečice)

**6b:** drenáž dominantně do Řečice (51 %)

**6c:** v povodí Řečice celkem odvodněno 100 % plochy HÚ

**6d:** drenáž přímo v nadloží plochy HÚ – vzdálenost = 0 m (Řečice)

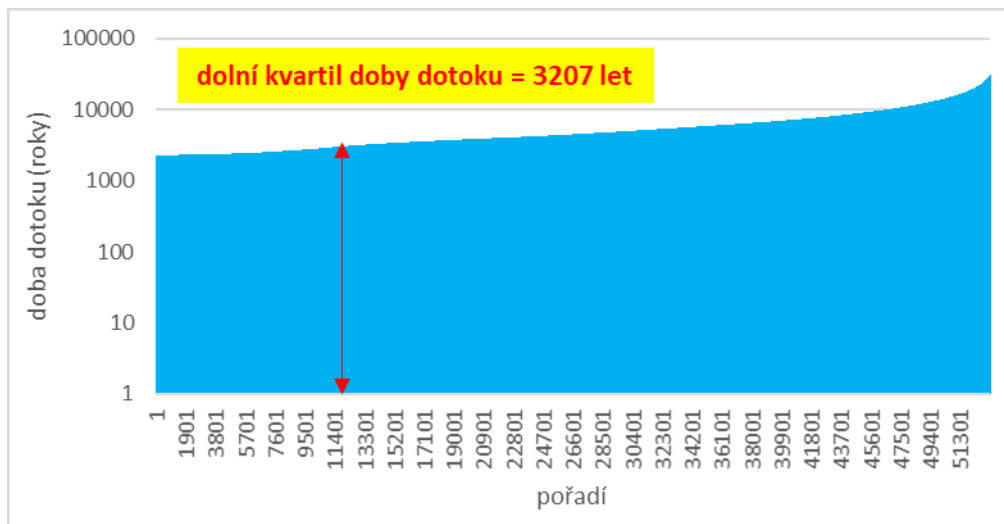
□ perspektivní území pro projektové práce

■ plocha podzemní části HÚ

relativní intenzita drenáže z prostor HÚ do přípvrchové vrstvy

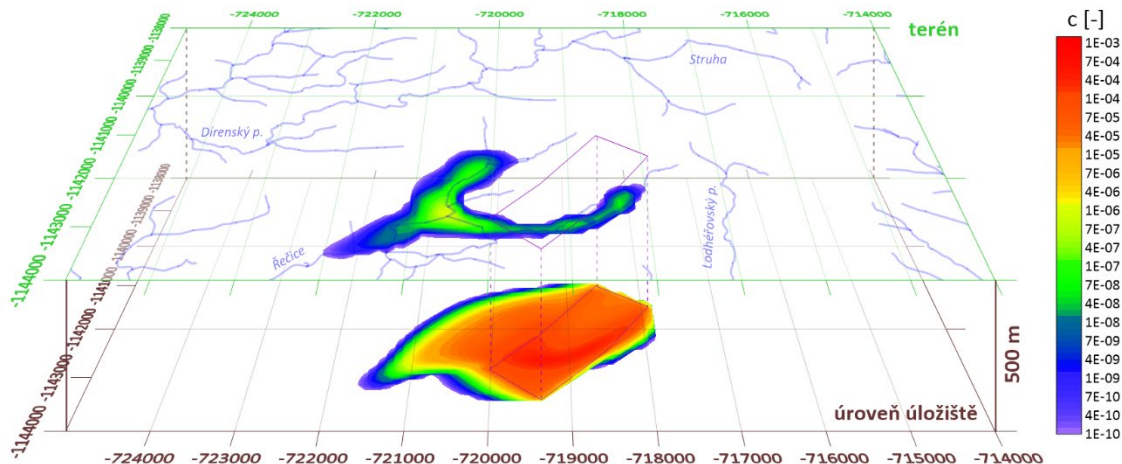
■ 0.001	■ 0.05
■ 0.005	■ 0.1
■ 0.01	■ 0.5

# Lokalita Čihadlo, metodika evaluace indikátorů K5a, K5g

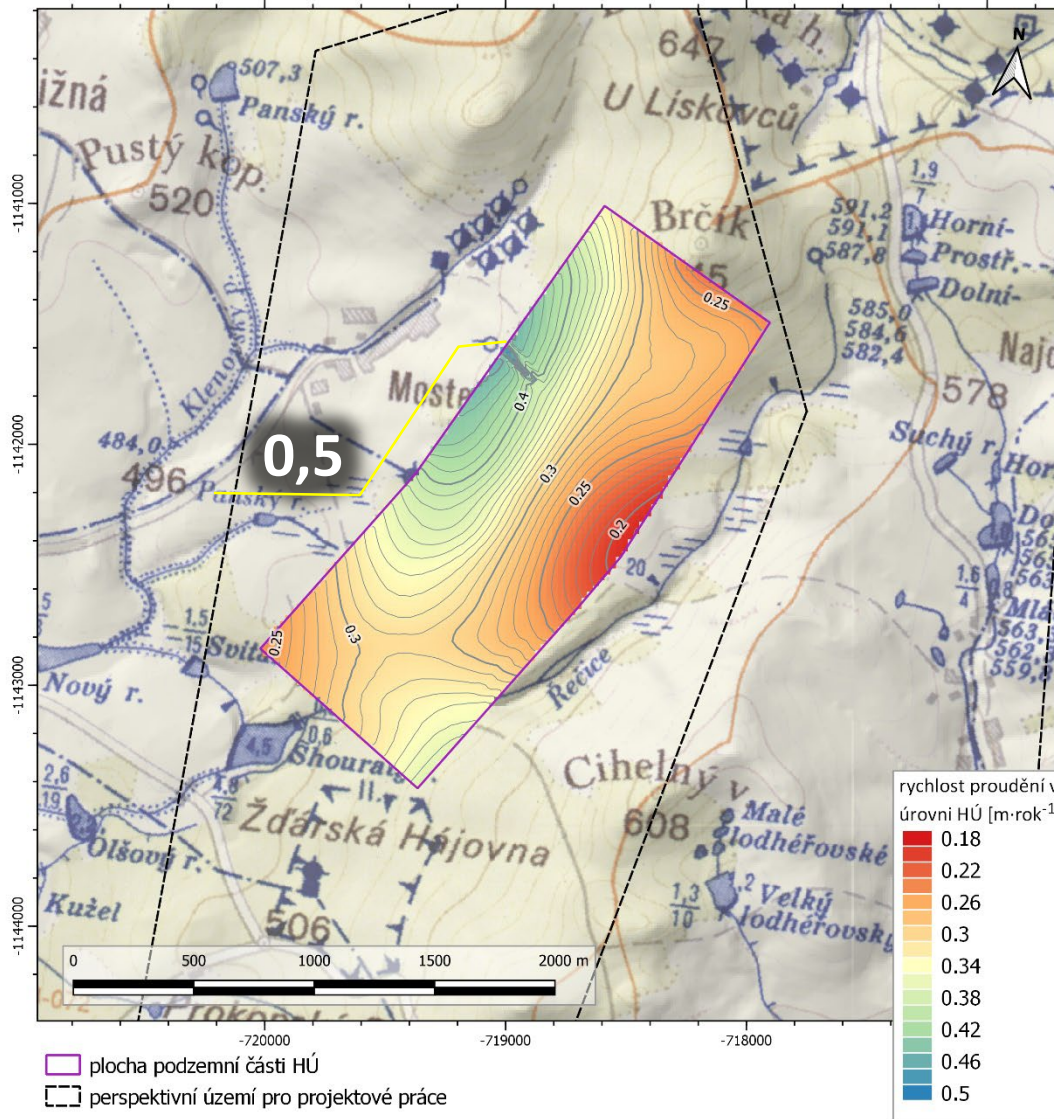


**5a:** dolní kvartil doby dotoku 3207 let

**5g:** poměr ředění 0,2 % nejintenzivnější drenáž z HÚ v soutokové oblasti Řečice a Klenovského p.



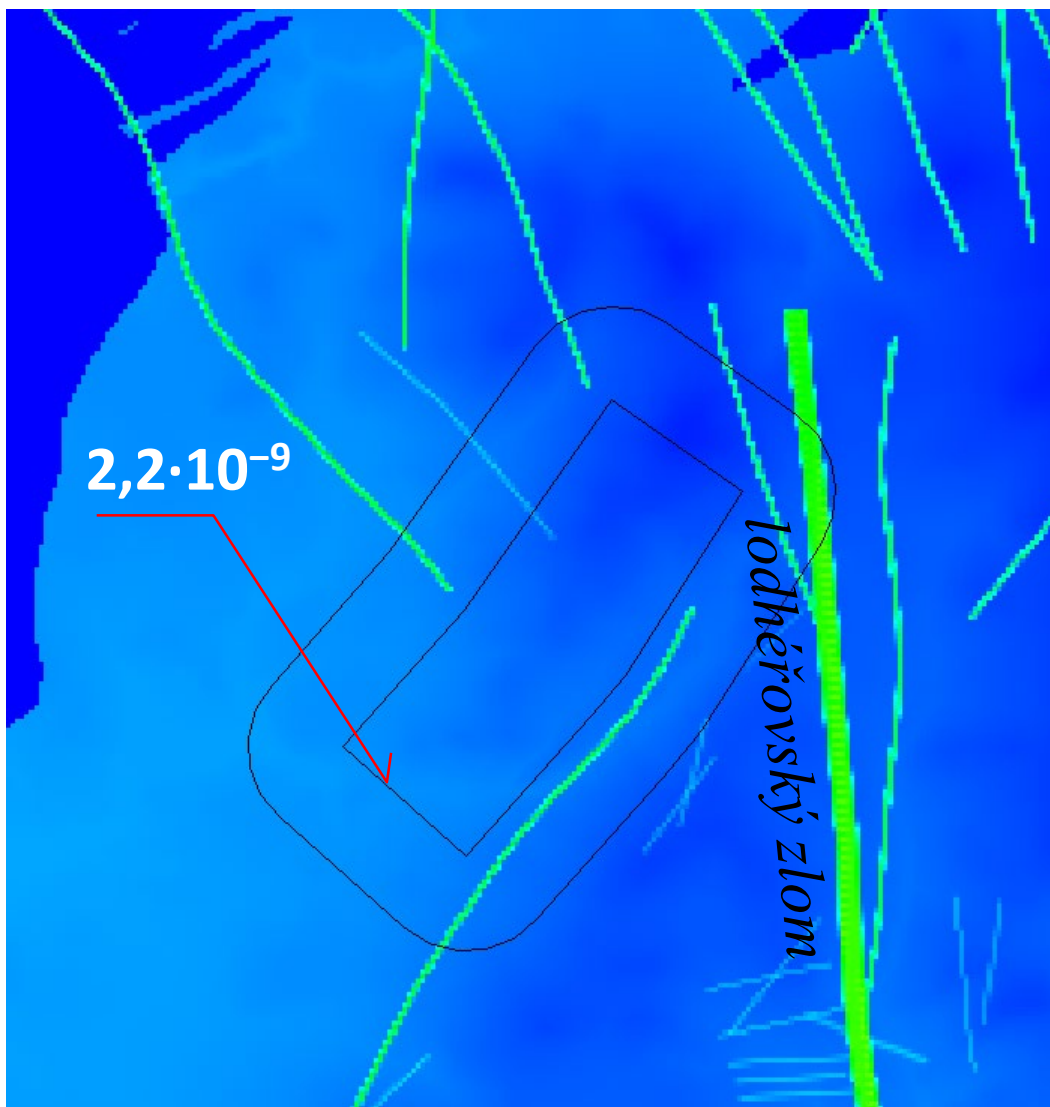
# Lokalita Čihadlo, metodika evaluace indikátorů K5b, K5f



**5b:** max. rychlost 0,5 m/rok

**5f:** specifický průtok úložnou plochou HÚ  $1,8 \cdot 10^{-2}$  l/s/km<sup>2</sup>  
*maxima rychlosti proudění prostorem HÚ se vyskytují při SZ okraji úložiště*

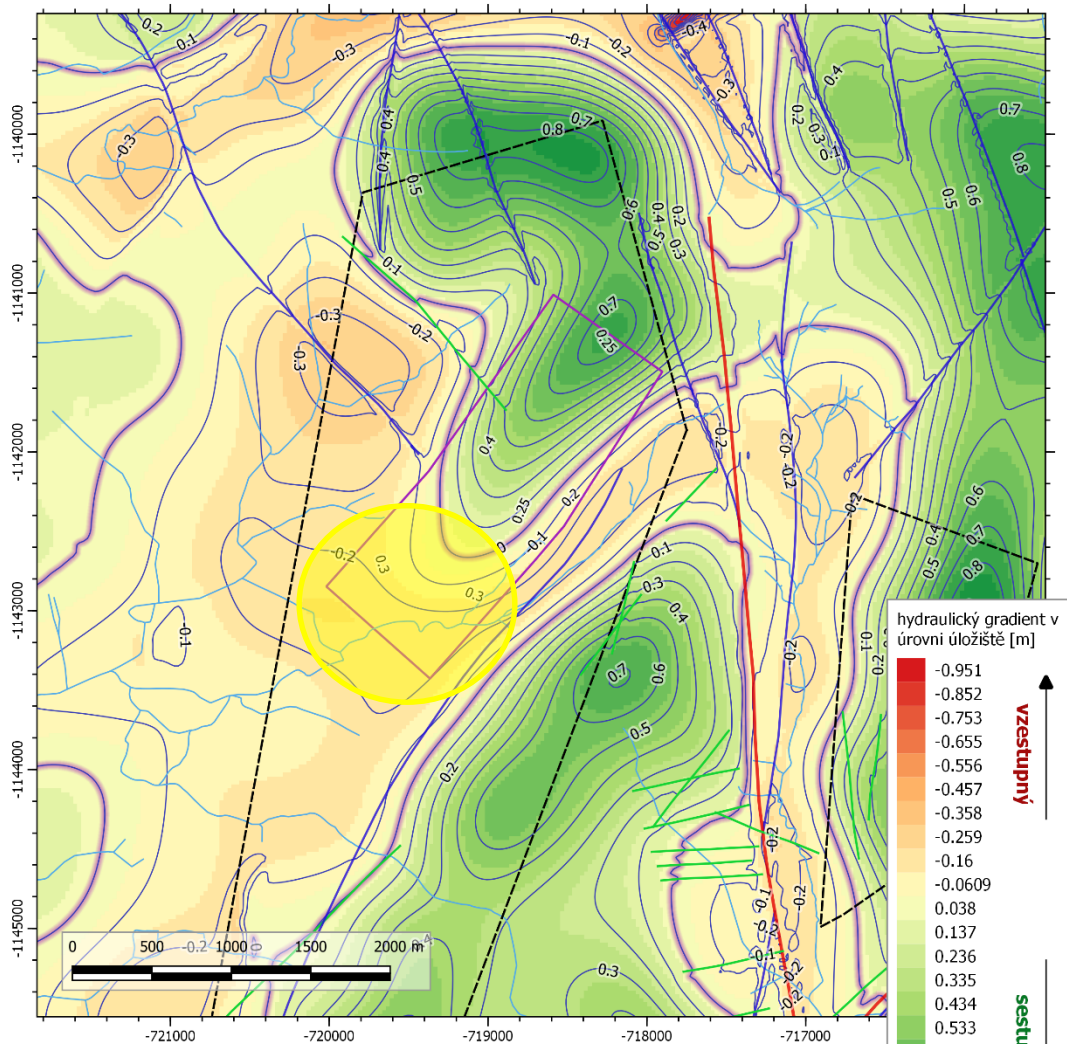
# Lokalita Čihadlo, metodika evaluace indikátorů K5c, K5e



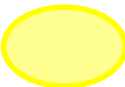
**5c:** max. hydraulická vodivost (propustnost) granitu  $2,2 \cdot 10^{-9}$  m/s při JZ okraji podzemní části HÚ








**5e:** max. propustnost poruchových zón do vzdálenosti 500m od HÚ je  $1,6 \cdot 10^{-8}$  m/s (výskyt na lodhéřovském zlomu, 1. kategorie dle klasifikace SKB)

# Lokalita Čihadlo, metodika evaluace indikátoru K5d



**5d:** sestupná složka proudění se vyskytuje na 58 % úložné plochy HÚ

 *vzestupná složka je zastoupena v JZ části úložiště – v povodí Řečice*

-  perspektivní území pro projektové práce
-  plocha podzemní části HÚ
-  říční síť
-  izolinie rozdílu modelové hladiny podzemní vody ve vrstvě nad HÚ a v úrovni projektového HÚ
-  zlomy I. kategorie, úroveň HÚ
-  zlomy II. kategorie, úroveň HÚ
-  zlomy III. kategorie, úroveň HÚ

