

STOPOVACÍ ZKOUŠKY V PUKLINOVÉM PROSTŘEDÍ – PREDIKČNÍ MODEL A TERÉNNÍ MĚŘENÍ

Gvoždík, Polák, Vaněček, Sosna

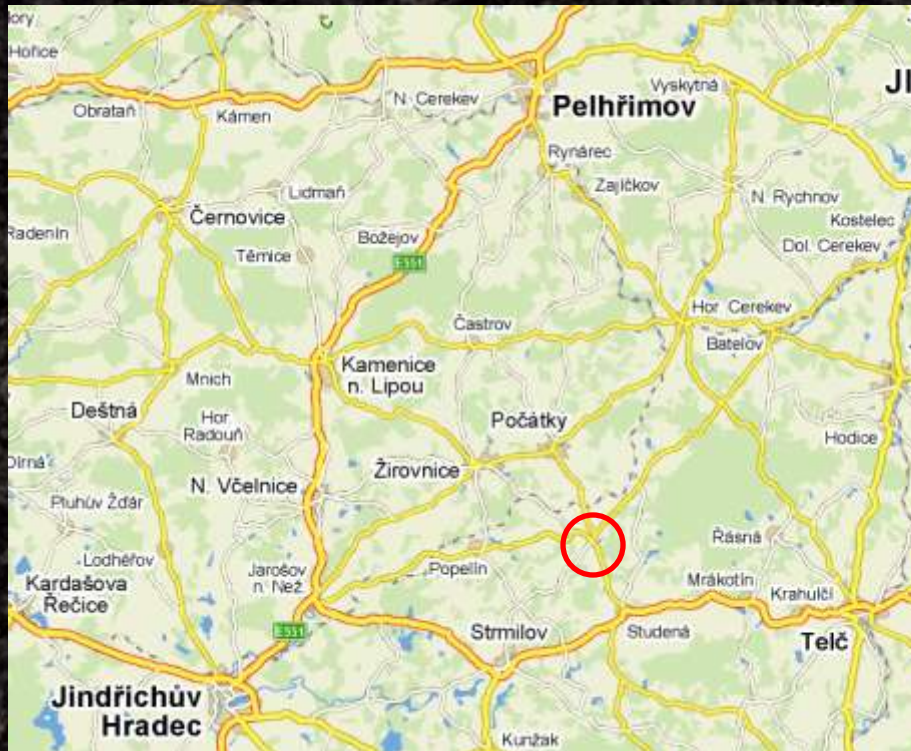
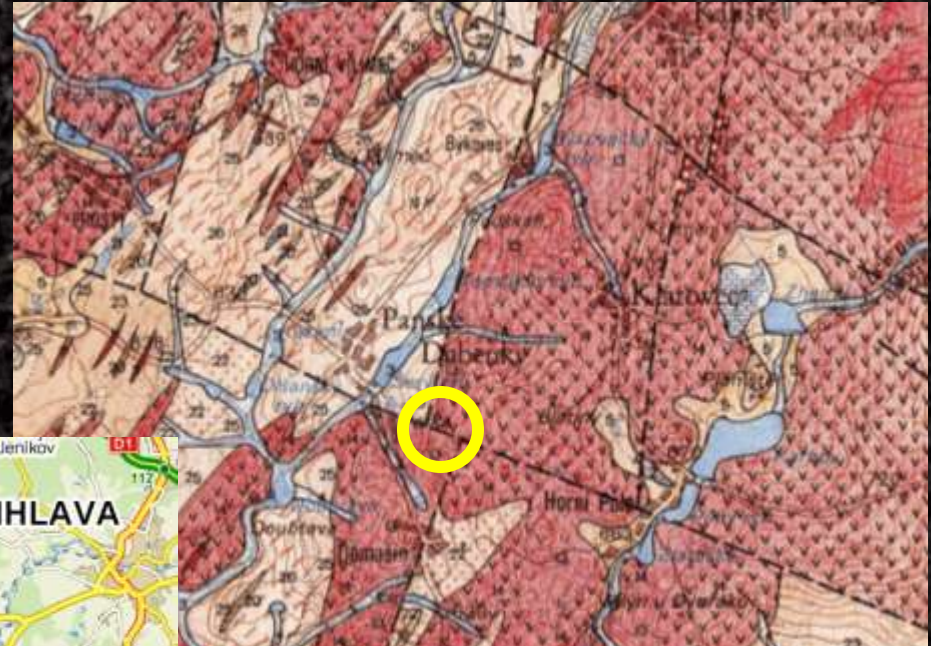
1H-PK/31 MPO ČR

Metody a nástroje hodnocení vlivu inženýrských bariér na vzdálené interakce v prostředí hlubinného úložiště



Zájmová lokalita

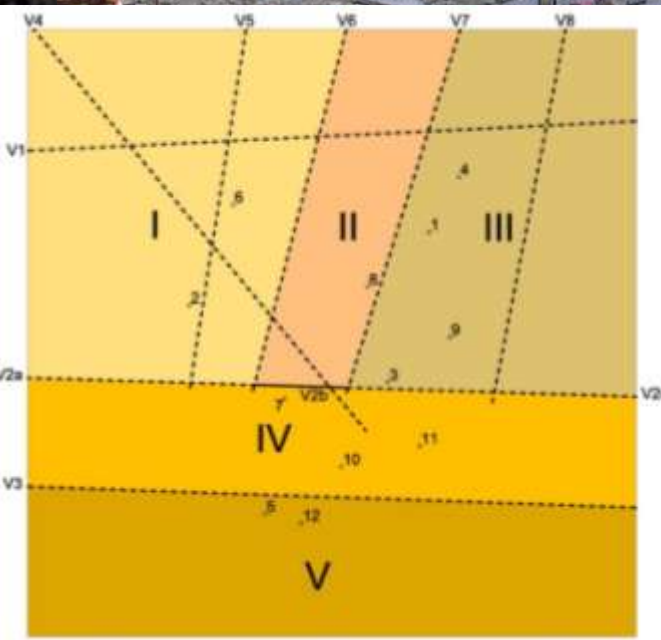
- žulový lom v katastru obce Panské Dubenky (jihozápadní části okresu Jihlava v kraji Vysočina)
- nadmořská výška přibližně 650 m n.m.
- dílčího povodí 1-07-03-032 Hamerský potok
- středně zrnitý dvojslídny granit s proměnlivým obsahem vyrostlic živců



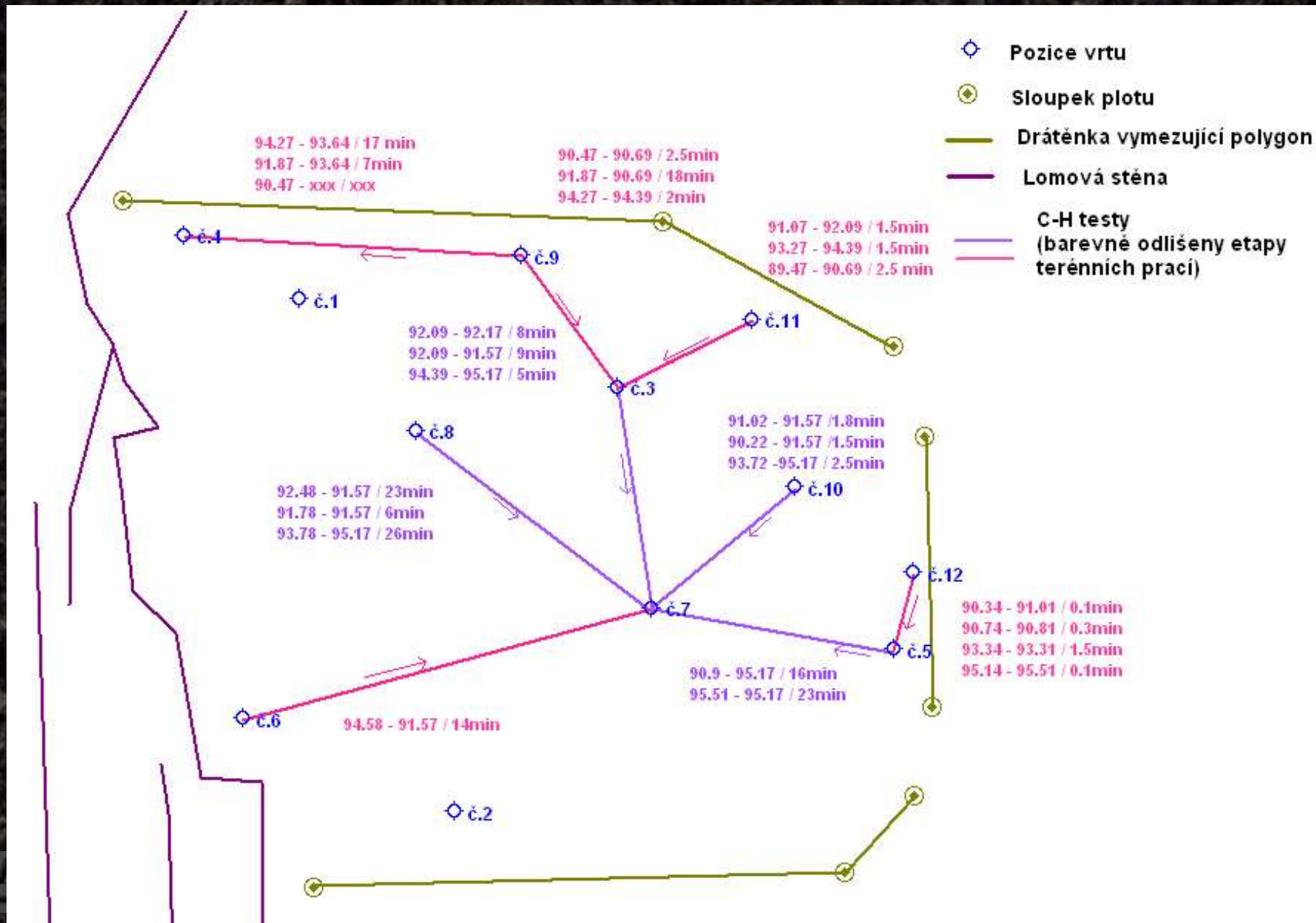
Testovací polygon



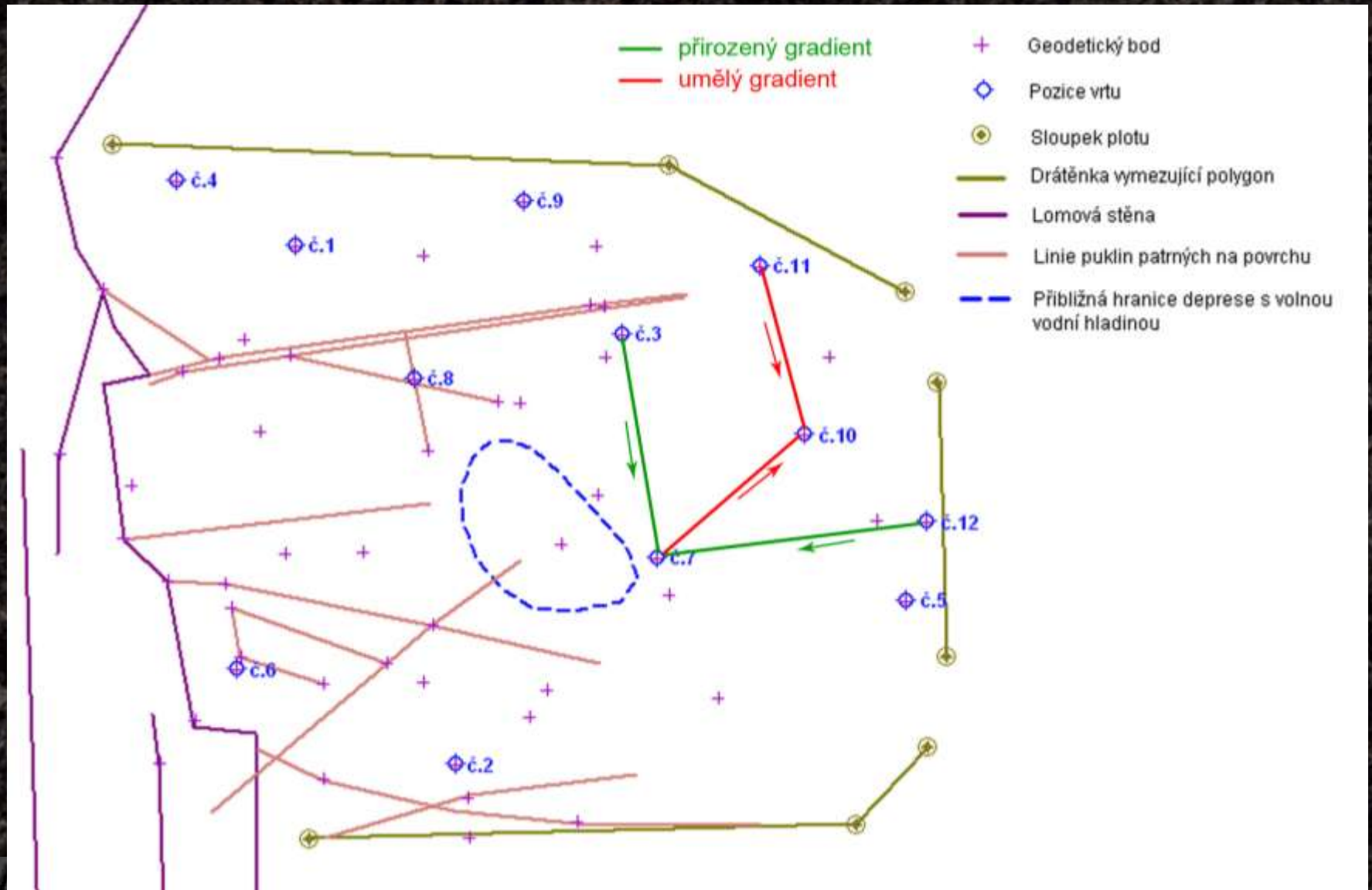
- velikost polygonu 12x13 m
- 12 + 2 vrty do hloubky cca 8 m
- hladina p.v – 1.5-3 m pod terénem
- 2-4 propustné horizontální pukliny
- 5 bloků oddělených vertikálními p.



Stopovací C-H testy – kalibrace modelu



Stopovací C-H testy – predikční simulace



Stopovací testy

- Testy při přirozeném a umělém gradientu
- Testy s uměle vytvořeným hydraulickým gradientem realizovány při stacionárním režimu proudění (po ustálení hladiny p.v. ve vrtech)
- Při testech jsou měřeny:
 - hodnoty průtoku,
 - hladiny podzemní vody v testovaných vrtech (ve vymezeném úseku vláčecího vrtu a v celém úseku vrtu čerpacího)
 - lokalizace a čas příchodu barviva (uranin) do vrtu pomocí speciální kamery.



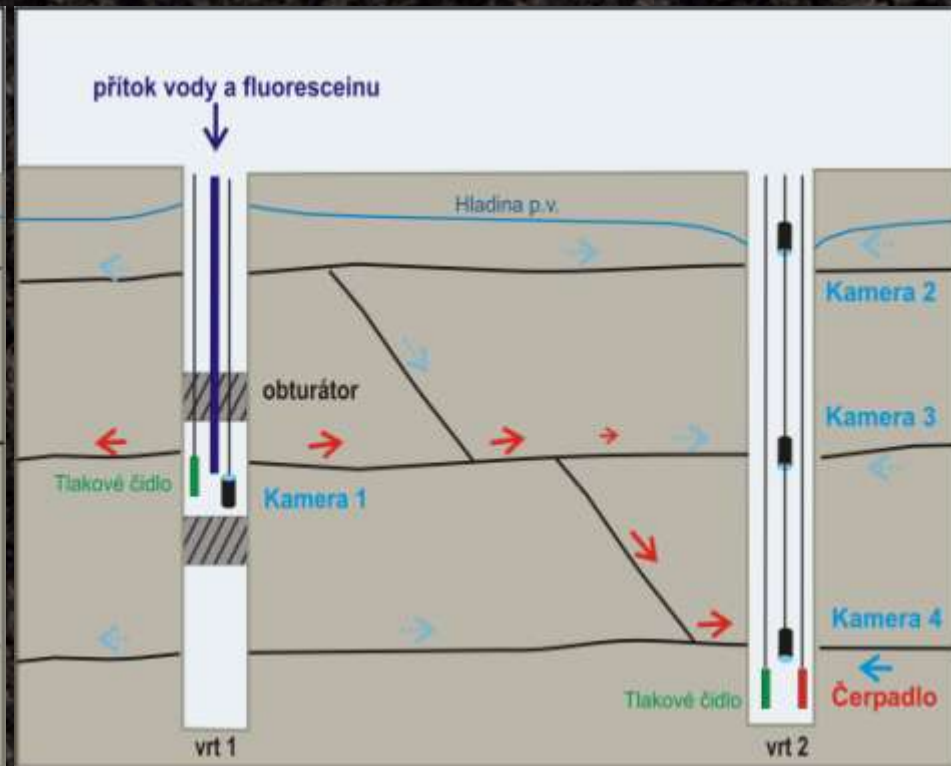
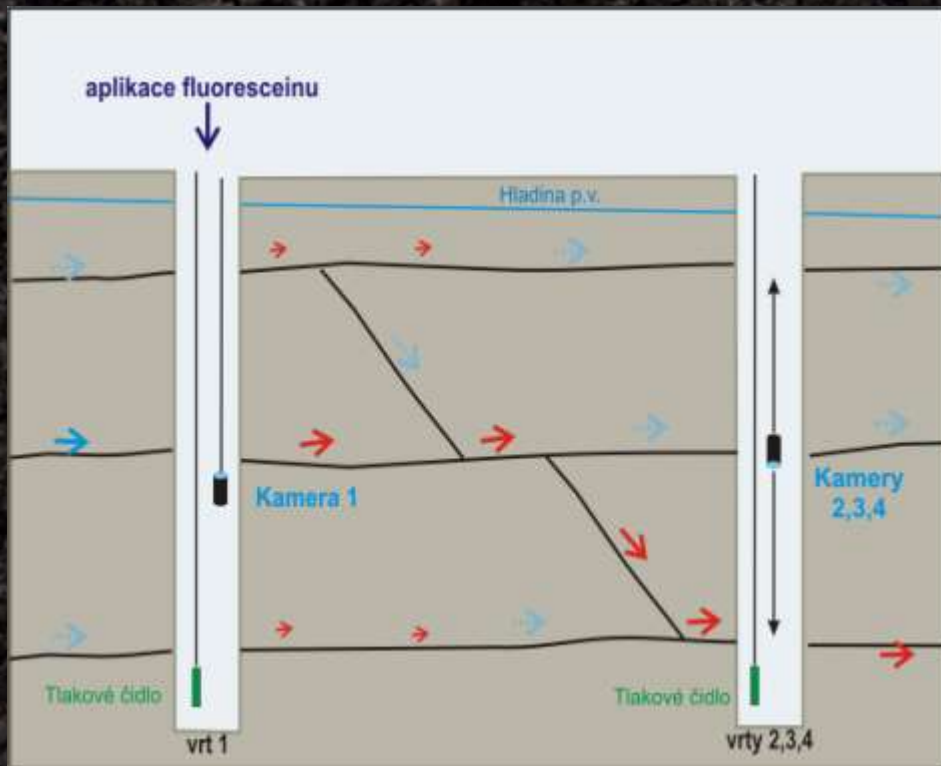
Schéma stopovacích testů

Přirozený gradient

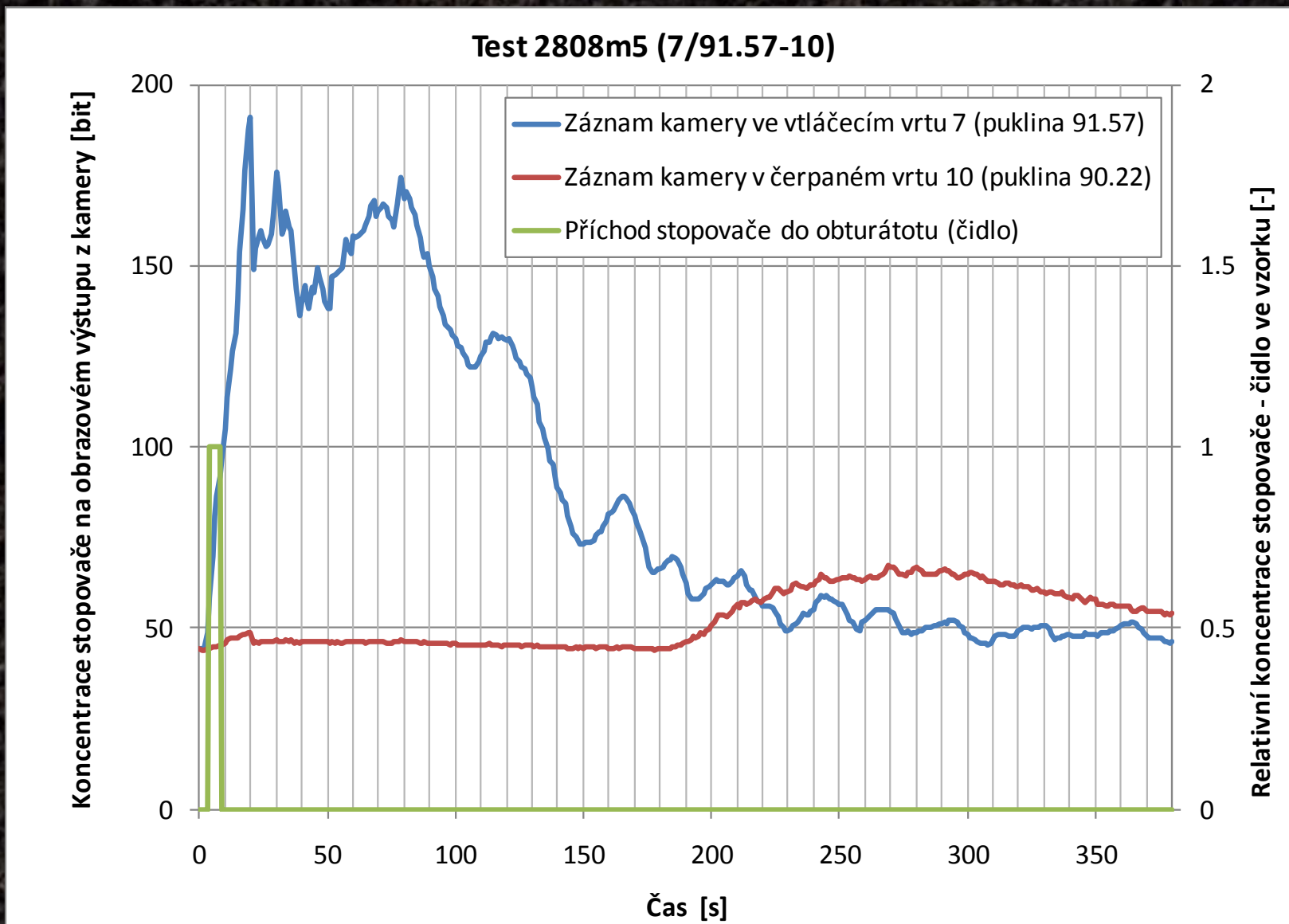
- aplikace stopovače (fluoresceinu) do celého vrtu
- pravidelně sledovány hlavní puklinové plochy ve vrtech situovaných ve směru proudění

Umělý gradient

- testována dvojice vrtů
- aplikace stopovače do zapakrovaného úseku vrtu
- kamery osazeny na hlavních puklinových plochách čerpaného vrtu

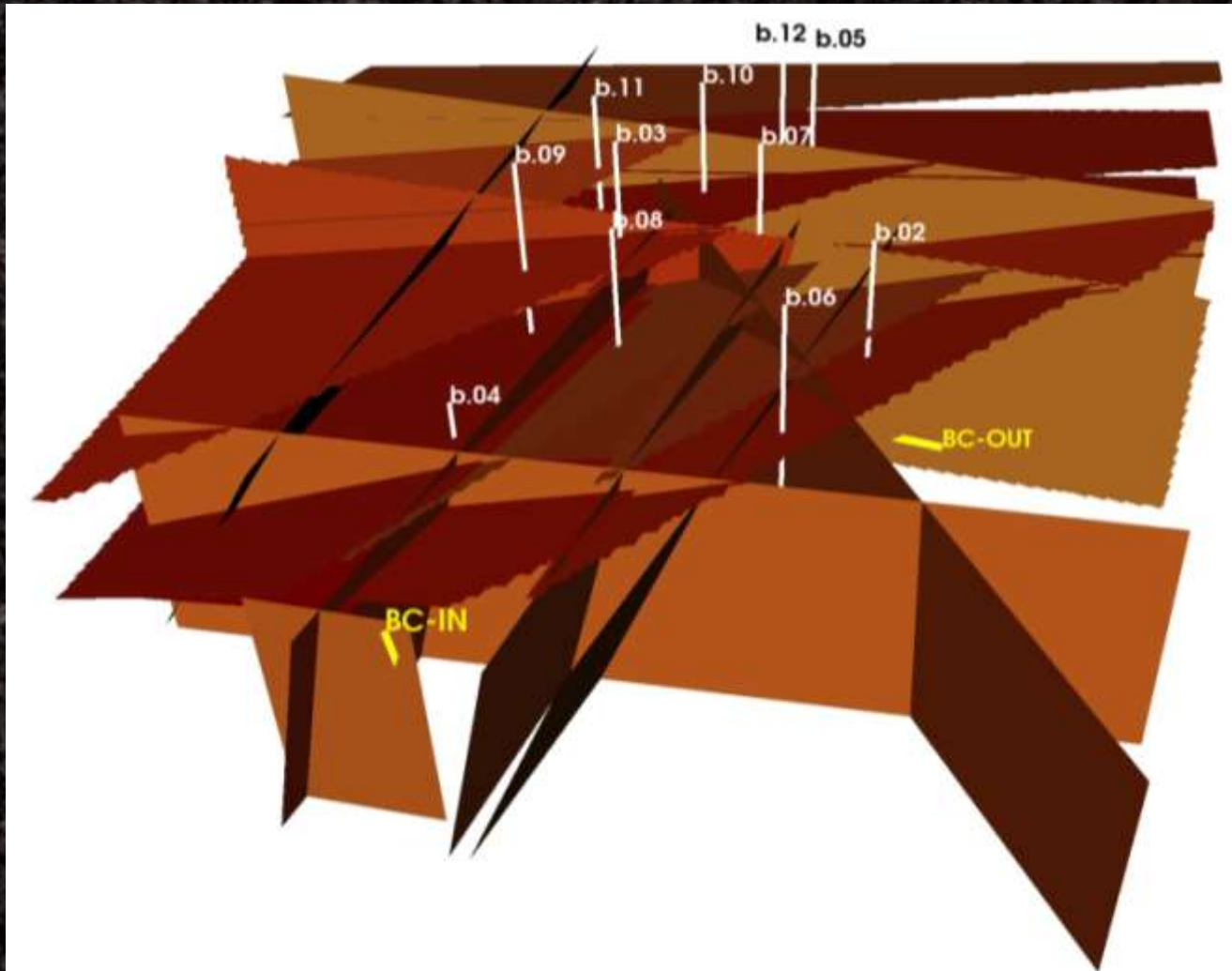


Příklad vyhodnocení stopovacího testu (umělý g.)



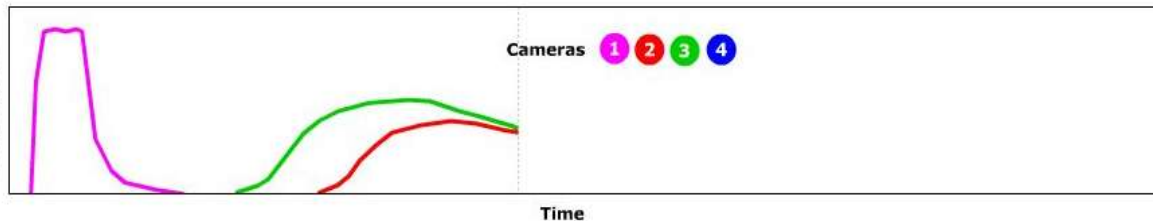
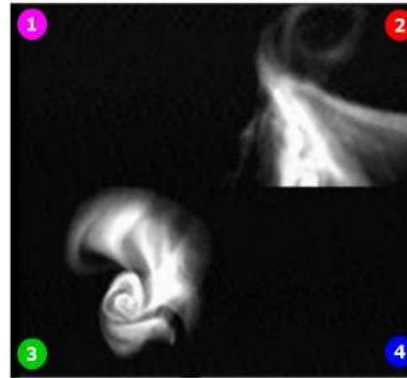
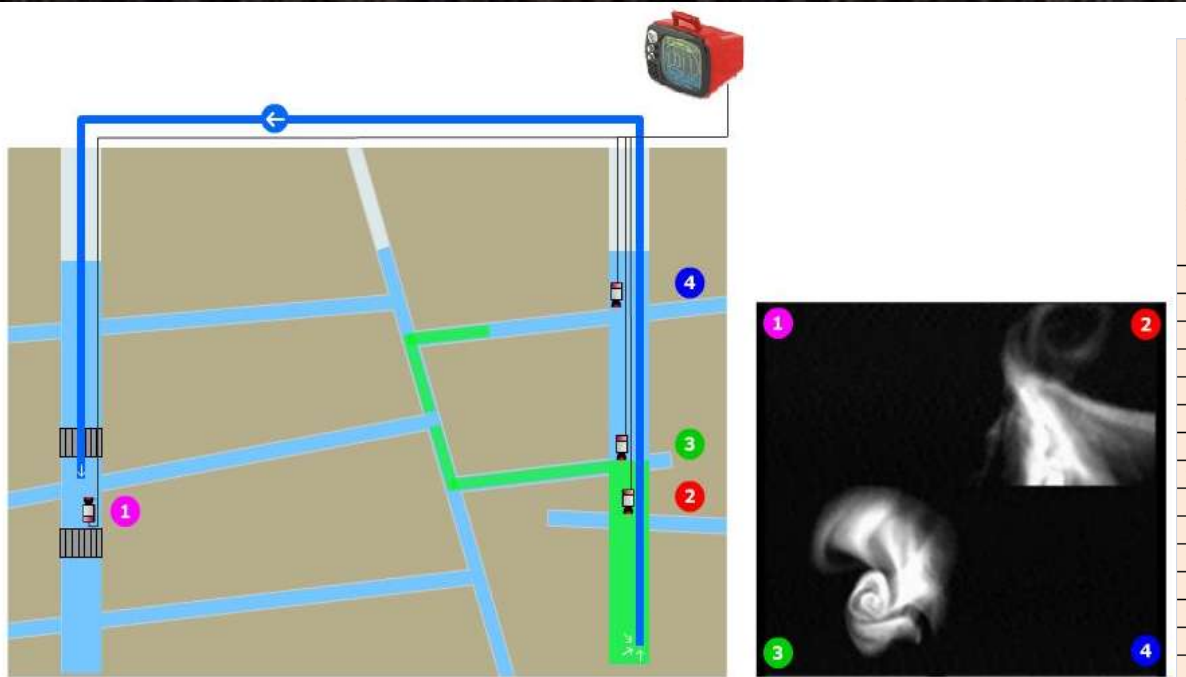
Hydraulický model

- model odladěný v předchozích fázích projektu (hydraulické rozevření, geometrie modelu, konektivita sítě, okrajové podmínky) na výsledky HDZ, stopovacích C-H testů
- 12 subhorizontálních a 10 subvertikálních puklinových ploch



Migrační C-H testy – kalibrační

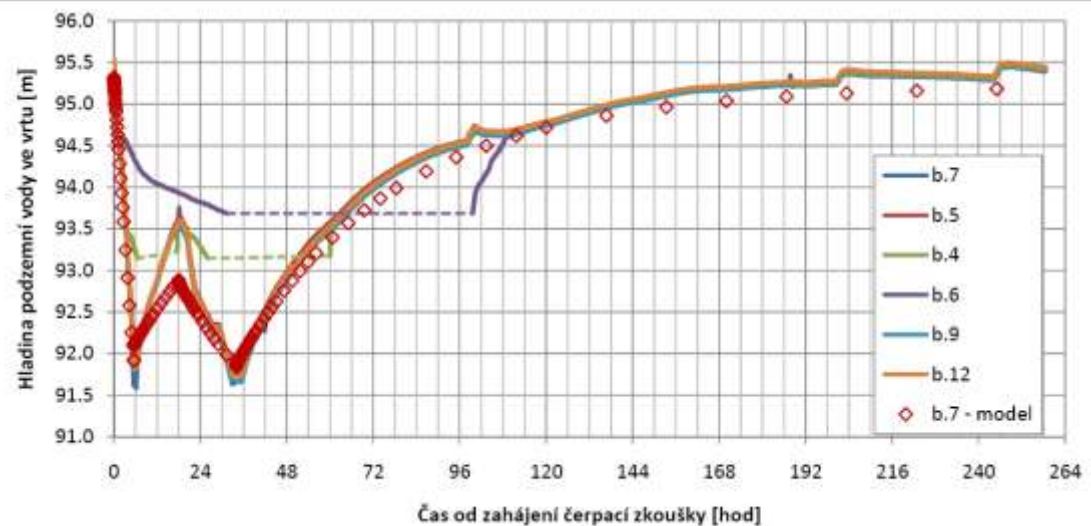
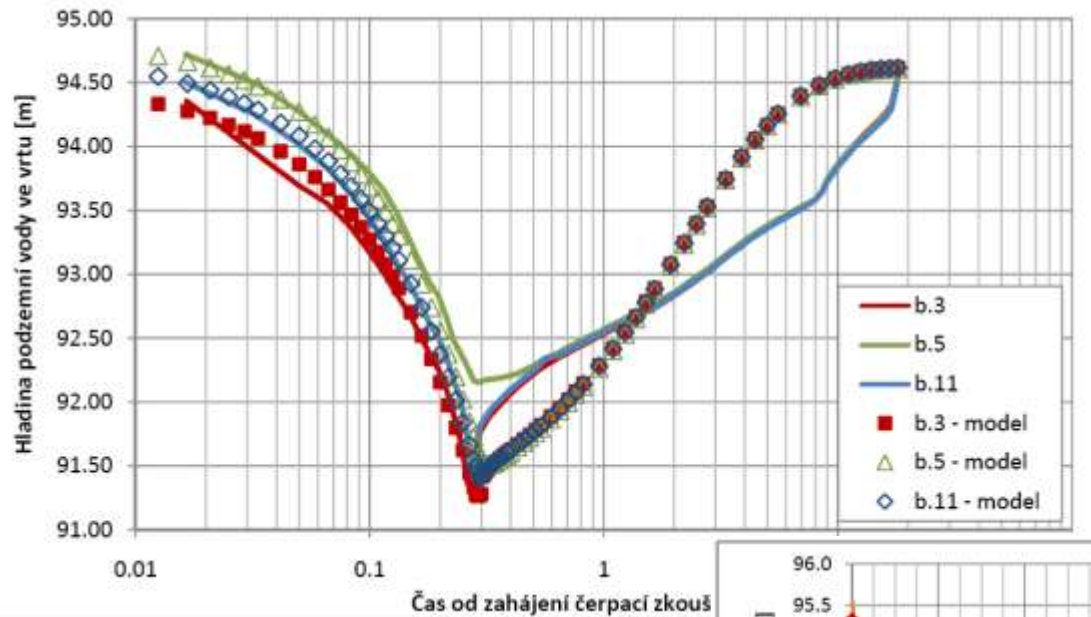
- 24 stopovacích testů při umělém gradientu
- kalibrace hydraulického a transportního rozevření puklin na hodnotu průtoku a průnikový čas stopovače
 - vertikální pukliny 0.2-0.5 mm
 - subhorizontální pukliny 0.4-1.74 mm



číslování testů	Injektáž		Rozdíl hladin mezi vtláčecím a čerpáním vřtem	Průtok		Detekce		
	Vrt	Puklina		hydraulický test	migrační test	Vrt	Puklina	průnikový čas
	označení	úroveň [m rel.]	m	l/s	l/s	označení	úroveň [m rel.]	min
1	10	93.72	0.10	0.0587	0.0563	7	95.17	2.5
2	10	91.02	0.46	0.0519	0.0504	7	91.57	2
3	10	90.22	0.21	0.0542	0.0545	7	91.57	1.5
4	5	95.51	0.91	0.0612	0.059	7	95.17	23
5	5	90.91	0.27	0.0425	0.0519	7	95.17	17
6	3	94.39	0.10	0.0473	0.0554	7	95.17	5.5
7	3	92.09	0.37	0.0425	0.0557	7	92.17	8
25	8	95.28	0.47	0.042	0.042	7	95.17	6
8	8	93.78	1.05	0.0438	0.0438	7	95.17	24
9	8	92.48	2.32	0.042	0.0359	7	91.57	22
10	8	91.78	0.10	0.0569	0.0569	7	91.57	6.4
11	6	94.58	0.17	0.0499	0.0499	7	91.57	16
12	9	94.27	0.12	0.0472	0.0472	3	94.39	2
13	9	91.87	1.23	0.0431	0.0431	3	90.69	17
14	9	90.47	0.01	0.0451	0.0419	3	90.69	2.8
15	11	93.27	0.08	0.0473	0.0473	3	94.39	1.5
16	11	91.07	0.31	0.0492	0.0492	3	92.09	1
17	11	89.47	0.06	0.0414	0.0414	3	90.69	3
18	9	94.27	0.17	0.0377	0.0377	4	93.64	16
19	9	91.87	0.06	0.0485	0.0485	4	93.64	7
20	9	90.47	0.17	0.0481	0.0481	4	93.64	30
21	12	95.14	1.38	0.0422	0.0422	5	95.51	0.08
22	12	93.34	0.12	0.0544	0.0544	5	93.31	0.86
23	12	90.74	0.15	0.0558	0.0558	5	91.01	0.28
24	12	90.34	0.18	0.0484	0.0484	5	91.01	0.17

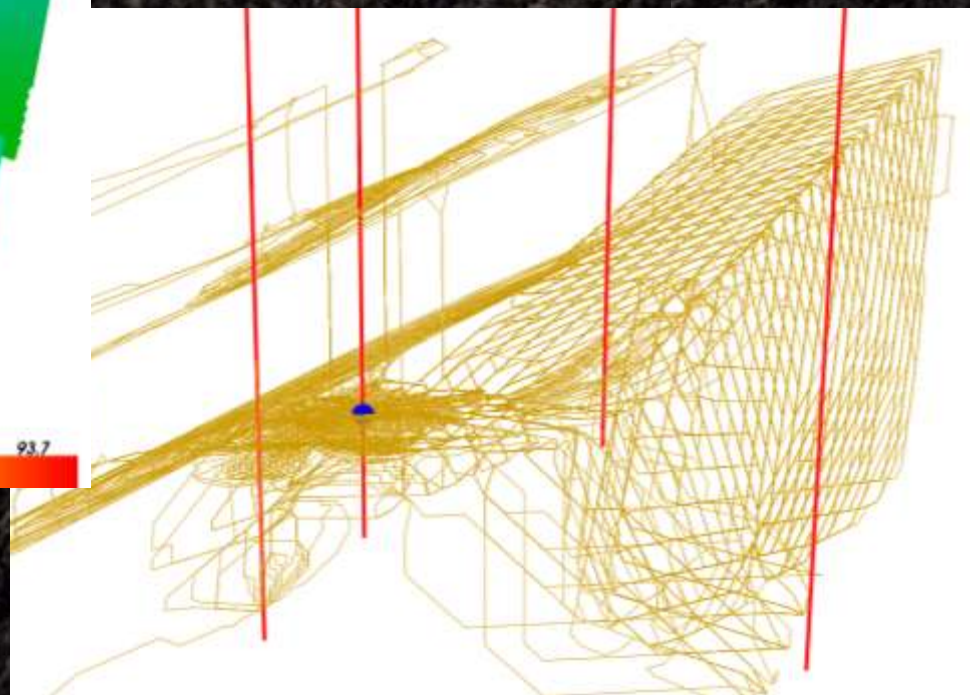
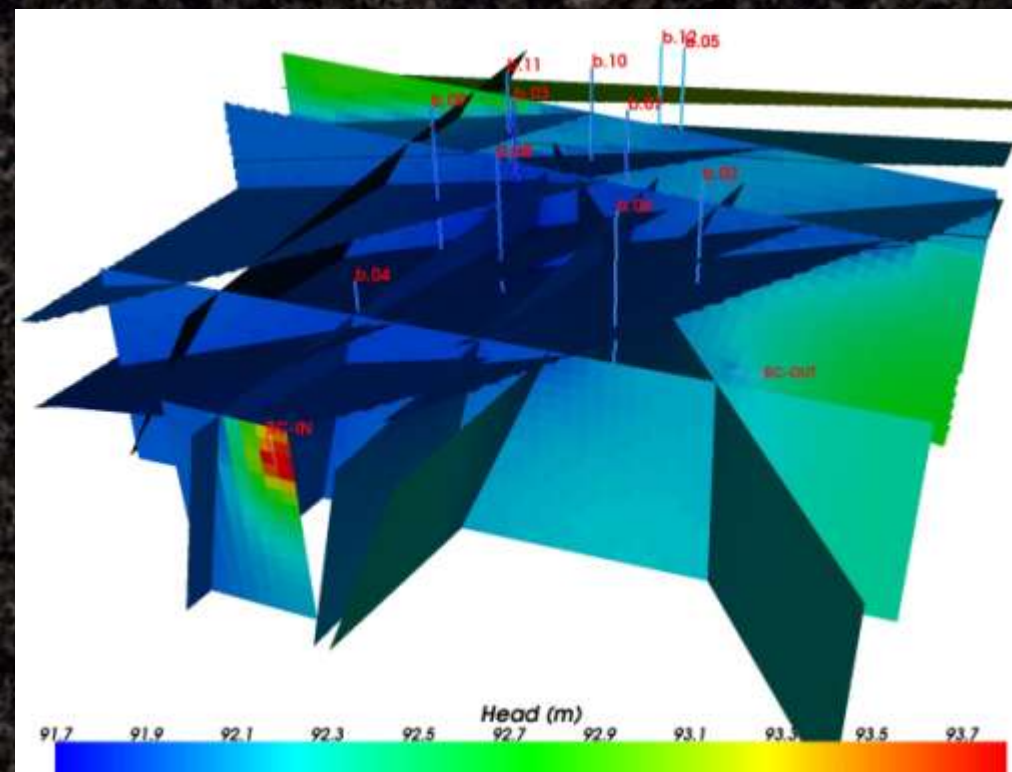
Hydrodynamické zkoušky

- 2 čerpací/stoupací zkoušky – 18 min (0.7 l/s) a 24 hod (0.08 a 0.017 l/s)
- kalibrace přítoku přes hranice modelu – 0.002 l/s



Simulace stopovacích testů

- program NAPSAC (součást balíku Connectflow, SERCO)
- simulace transportu pomocí částic – metoda „particle tracking“
- trajektorie částic jsou vypočteny na základě známého rychlostního pole (vypočteného při simulaci proudění)



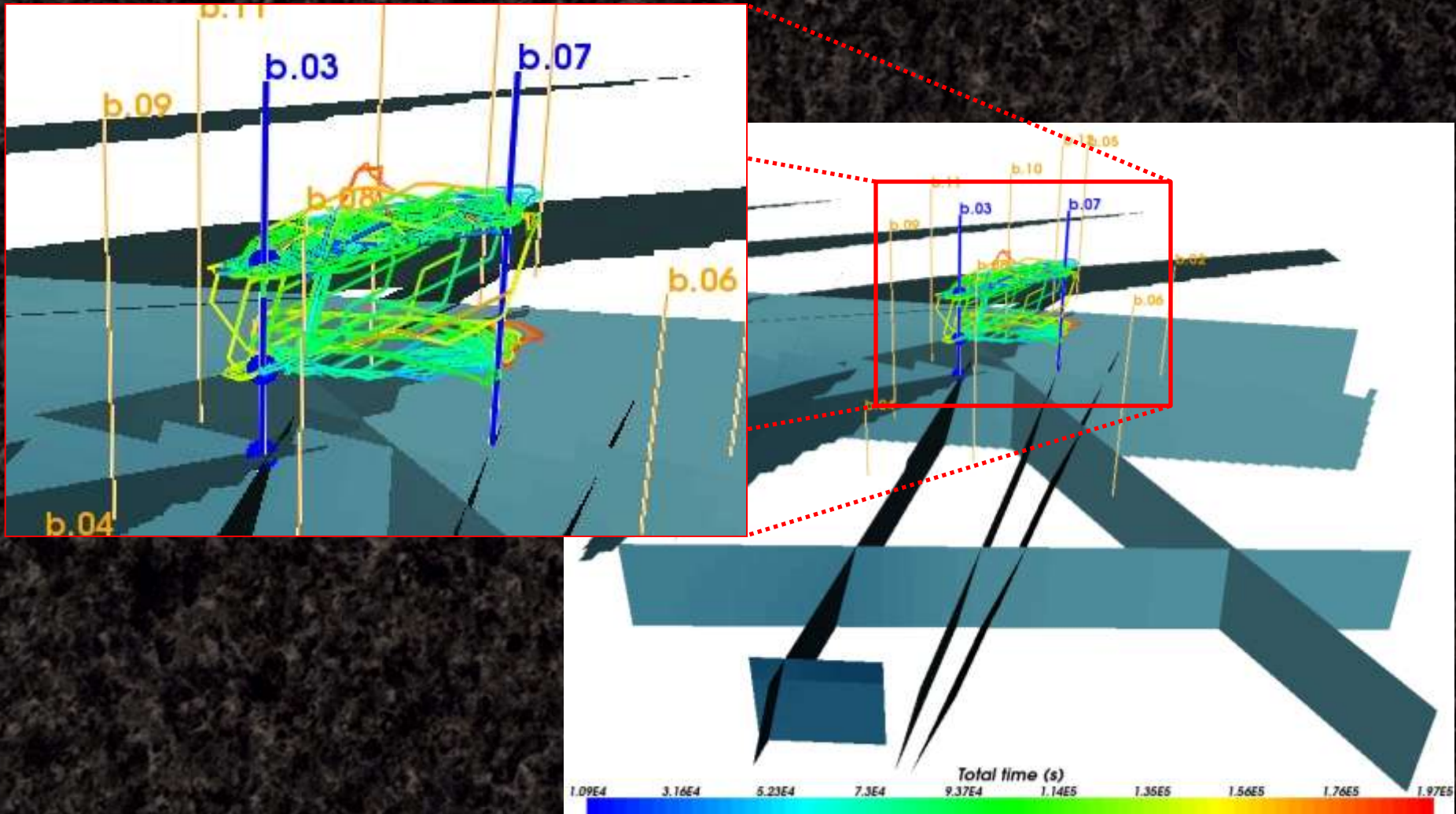
Predikční simulace

- „predikční“ ve smyslu:
 - výsledky terénních testů byly známy až po provedení simulací
 - výsledky testů nebyly využity pro doladění hydraulického modelu
- ověření modelu a hodnocení modelovacího týmu sestavit model
- cíl stopovacích testů a jejich simulací:
 - sestavení a testování metodiky terénního měření a matematického modelování v puklinovém prostředí
- migrační testy byly konfigurovány tak, aby byla testována neznámá transportní dráha



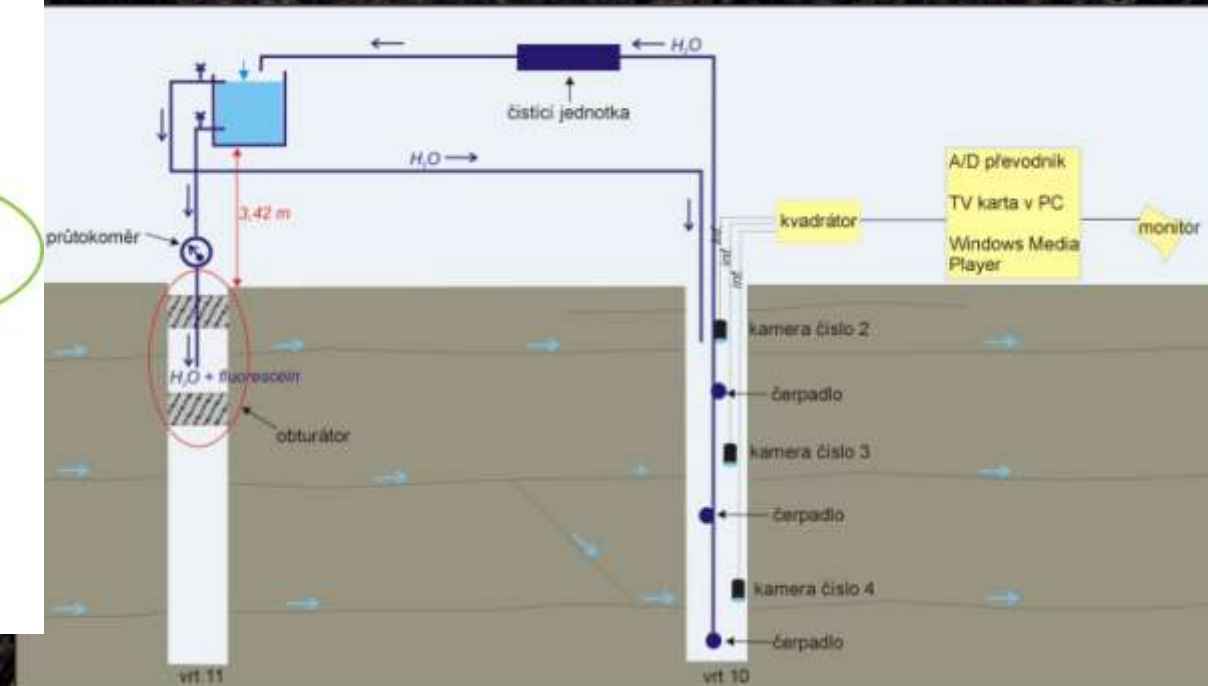
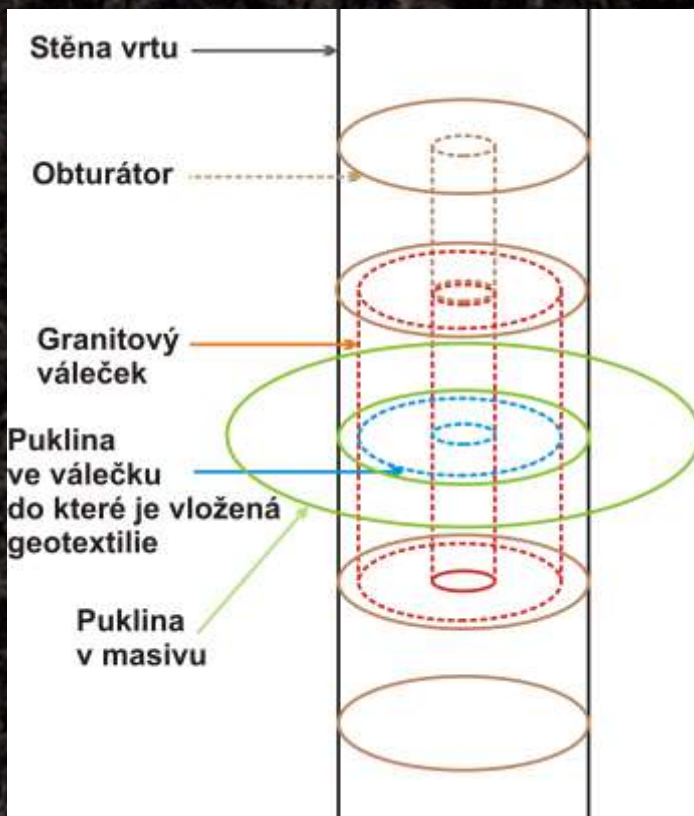
Predikční simulace – přirozený gradient

- rozdíl hladiny p.v. ve vrtech – v řádu milimetrů
- vzdálenost vrtů: 3-7 – 3.8 m; 12-7 – 4.5 m
- doba průniku stopovače do vrtu 7: 3 hod (z vrtu 3) a 9 hod (z vrtu 12)



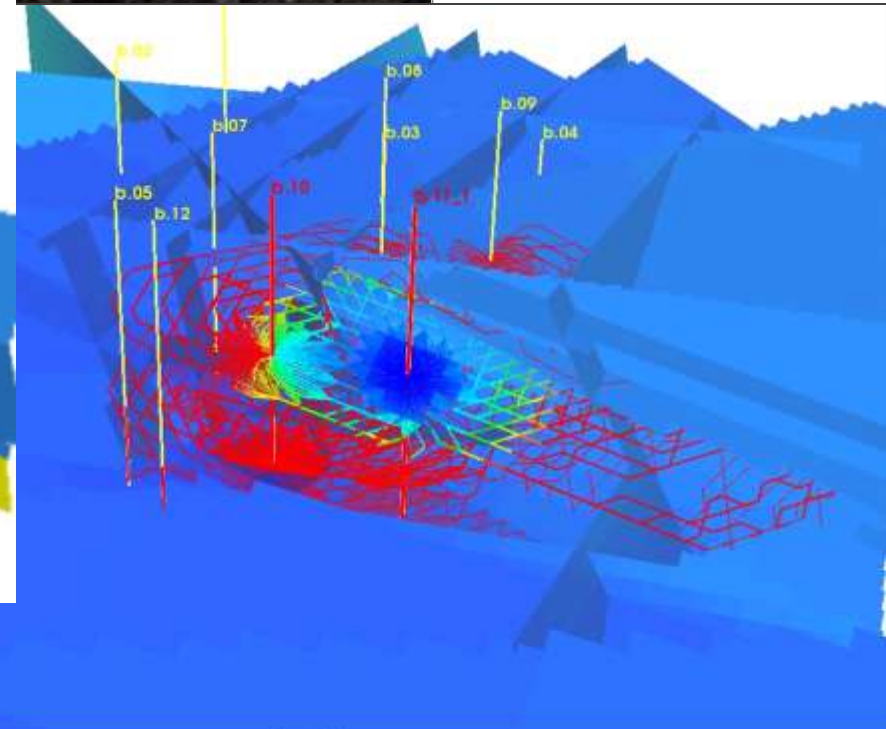
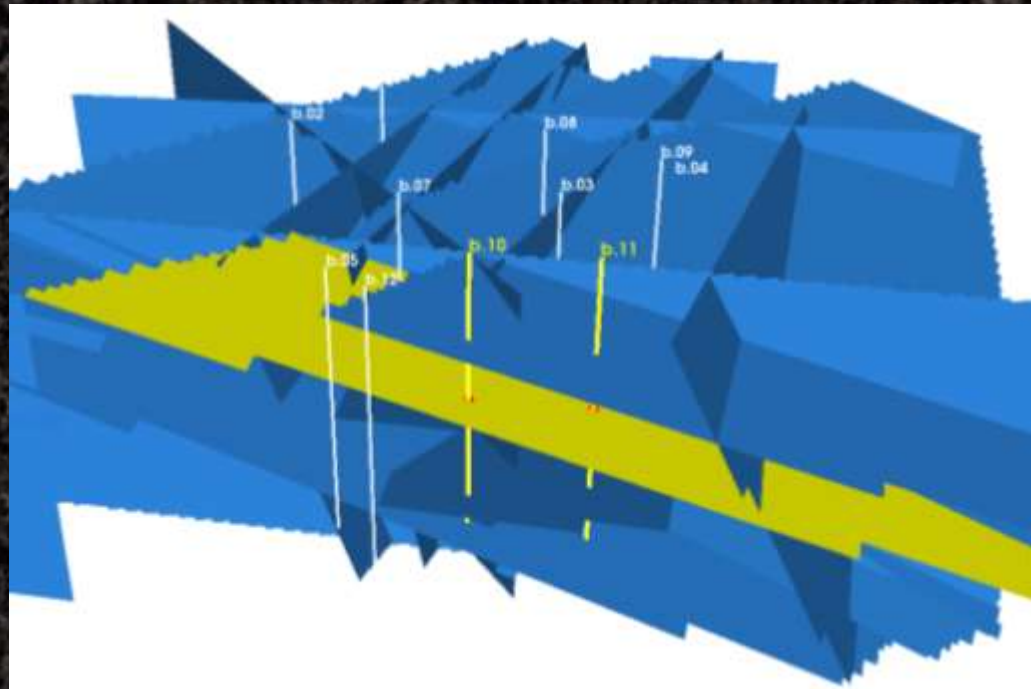
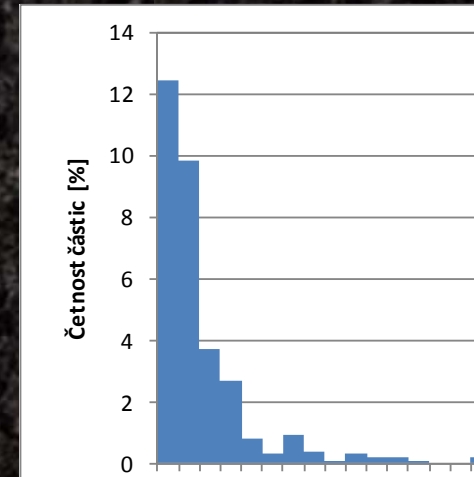
Predikční simulace – umělý gradient

- rozdíl hladiny p.v. ve vrtech – 6.6 m (konstantní úroveň na vtoku)
- udržován konstantní průtok → simulace v ustáleném režimu proudění
- granitový váleček s umělou puklinou umístěný do obturátoru (aplikace inženýrské bariéry v další fázi projektu)



Predikční simulace – umělý gradient

- vzdálenost vrtů: 7-10 – 3.2 m; 11-10 – 2.9 m
- testováno spodní (7-10) a střední (11-10) puklinové patro
- průnikový čas: 7-10 – 161 s; 11-10 – 27 s
- rozdíl v časech (při stejné vzdálenosti vrtů) je dán různou hodnotou rozevření puklin podílejících se na transportní dráze (0.56 mm pro 7-10 a 1.1 mm pro 11-10)



Time (s) 28 56 84 112 141 169

Predikční simulace – porovnání výsledků

- přirozený gradient

Označení testu		3-7	12-7
Čas přítoku stopovače [hod]	Model	3	9.1
	Test	2.3	3

- umělý gradient

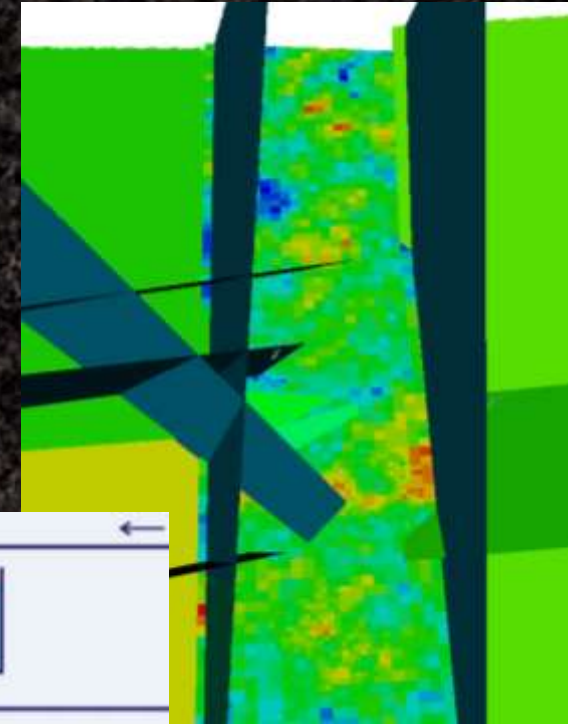
Označení testu		2808m5	1009m2
Z vrtu (pukliny) - do vrtu		7 (91.57) - 10 (90.22)	11 (93.27) - 10 (93.72)
Pukliny zapojené do testu		H.IV3	H.IV2
Rozdíl hladin mezi vrty při		6.66	6.65
Průtok [l/s]	Model	0.036	0.068
	Test	0.035	0.033
Čas přítoku stopovače [s]	Model	161	54
	Test	182	27

Predikční simulace – závěry

- nepřesnosti při kalibraci hydraulického rozevření
- konstantní vs. proměnlivé hydr. rozevření
- transportní vs. hydraulické rozevření
- konektivita sítě – propojení puklin
- chyba měření? – porovnání výsledků simulace terénního a laboratorního testu

Další závěry:

- testy a predikční simulace stopovacích zkoušek s aplikací inženýrské bariéry (prosinec 2009)



Tento příspěvek vznikl s podporou Ministerstva průmyslu a obchodu České republiky v rámci projektu registrovaného pod číslem 1H-PK/31 MPO ČR.

Informace o projektu: <http://www.isatech.cz/geologie/>