

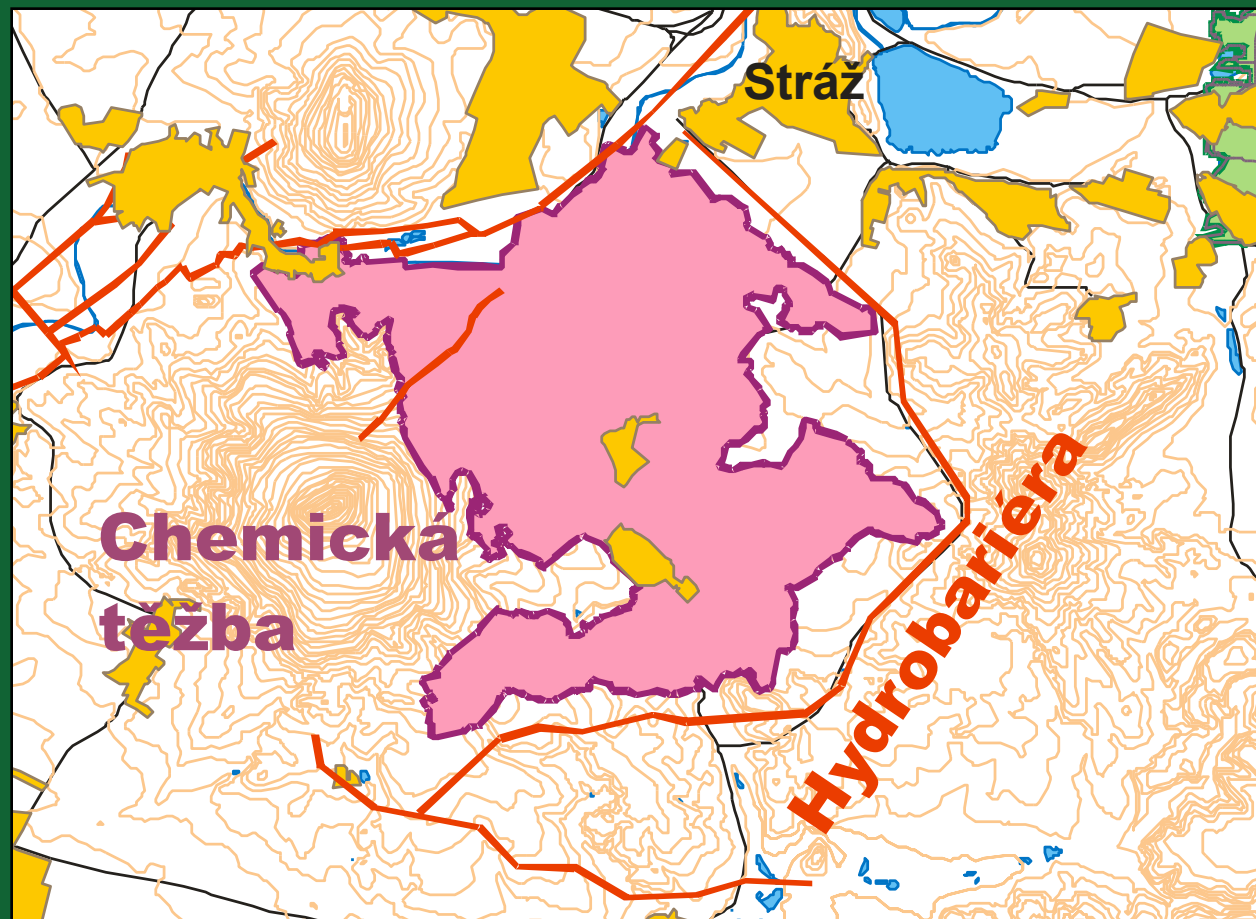


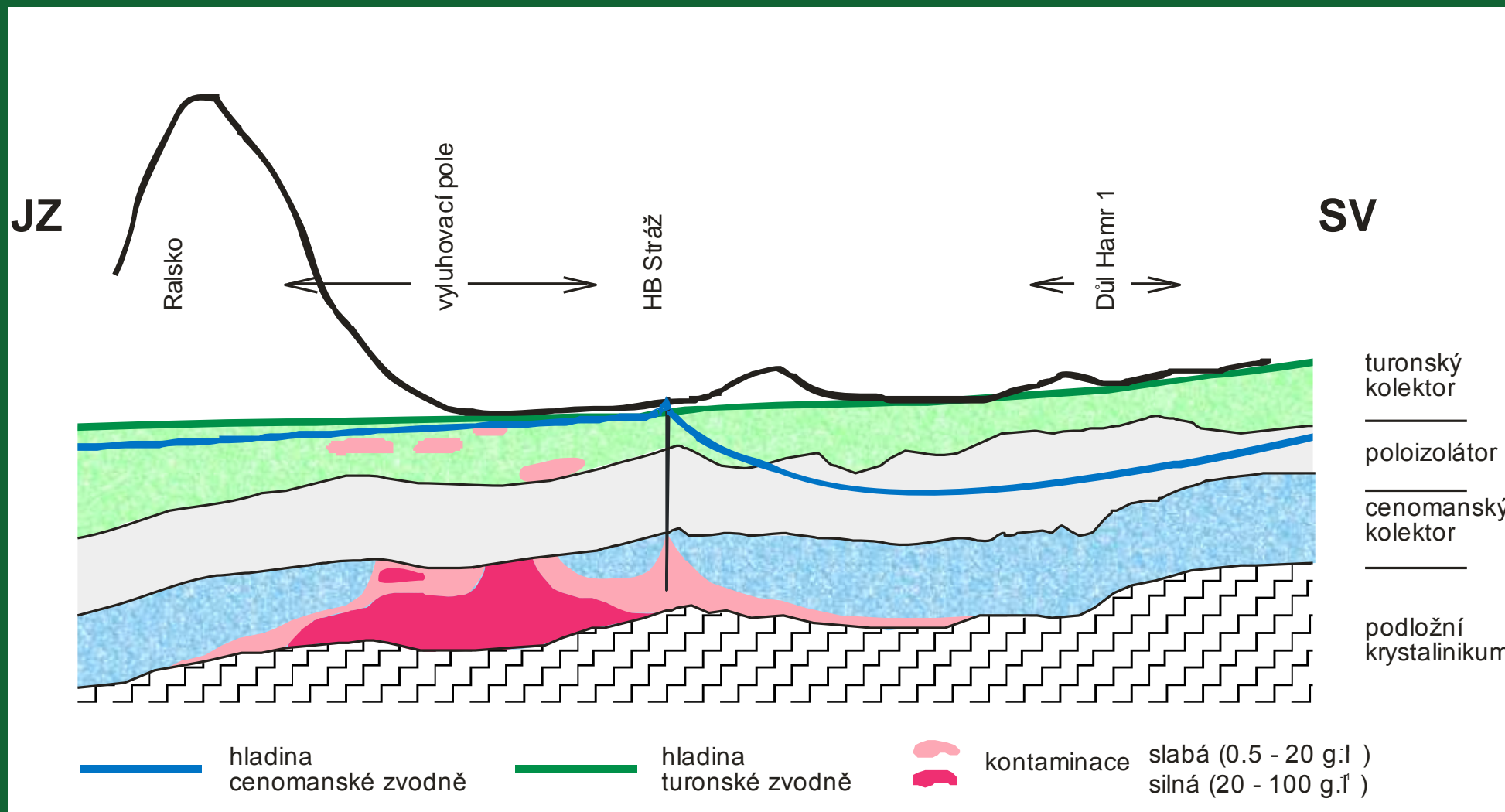
Pilotní experiment imobilizace kontaminantů in-situ v rámci sanace následků chemické těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem



Leden 2007 – Prosinec 2008

- těžba 1969-95
- sanace od 1996 (bez H_2SO_4)
- plocha VP 6 km²
- celkem cca 10 km²
- 150 mil. m³ roztoků







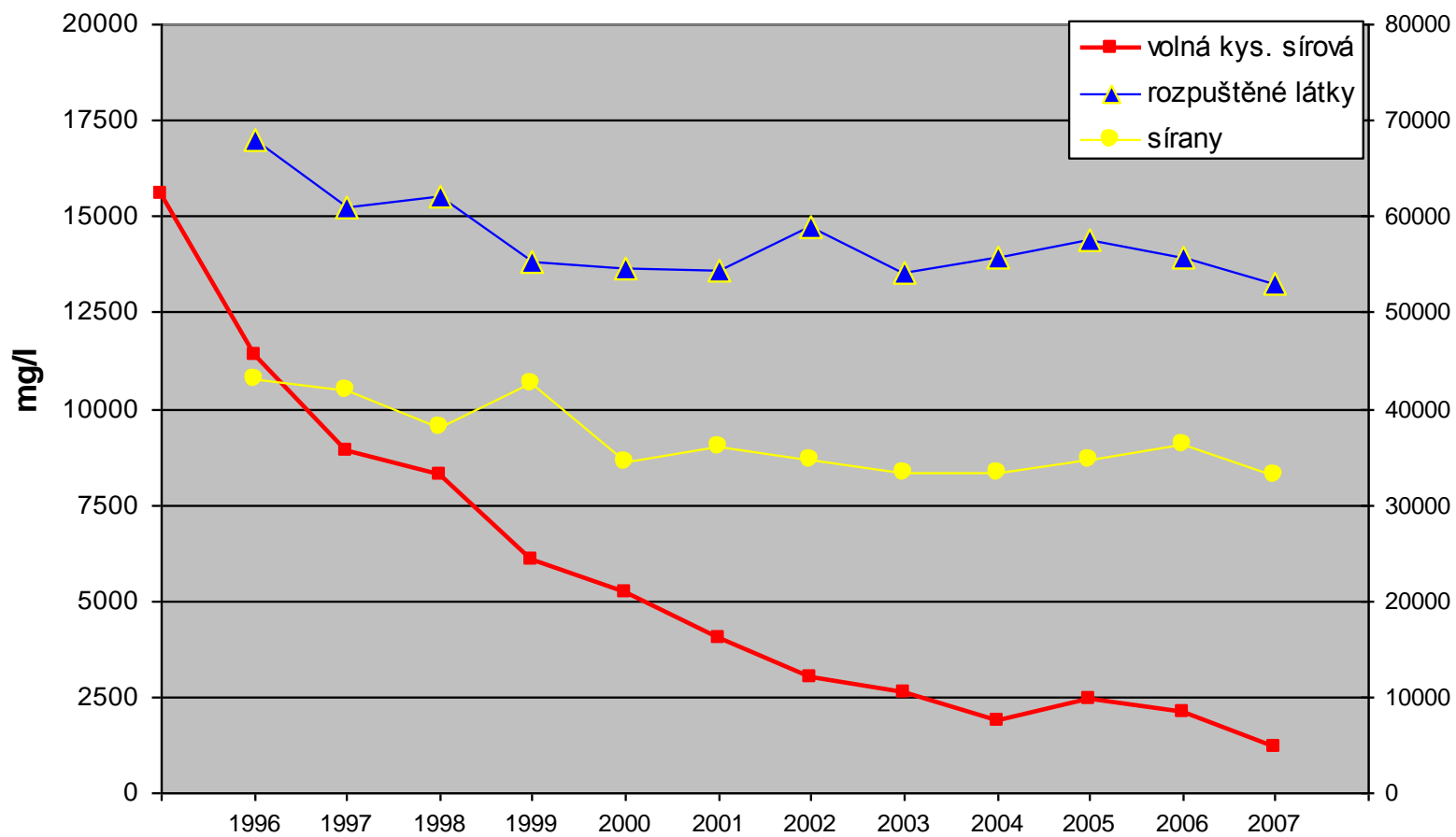
ÚVOD

současný stav

Sanační technologie

- **SLKR I – odparka, krystalizace kamence, kapacita $4 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$**
- **NDS 6 – neutralizace vápnem, kapacita cca $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$**
- **NS ML – neutralizace mat. roztoků po krystalizaci kamence vápnem, kapacita cca $2,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (od r. 2009)**
- **NDS 10 – neutralizace vápnem, kapacita cca $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (od r. 2013)**

Vývoj složení nátoků na SLKR I





ÚVOD

historie projektu

- **Od 70 let minulého století myšlenka zneškodňování kontaminace v cenomanu in-situ**
- **Řada provozních pokusů (pěny, gely, tenzidy, vápenné mléko, soda) – neúspěch**
- **Změny v přístupu k uplatnění imobilizace kontaminantů:
kolmatace ložiska, plošná imobilizace, bariera**



ÚVOD

historie projektu

- **Příloha UV ČR č. 170 z 6. 3. 1996 – „Rámcový postup likvidace a sanace CHT a program ověřovacích prací“.**
- **V roce 1999 zpracován detailní „Projekt experimentu imobilizace kontaminantů v ploše VP 8C“**
 - **z finančních důvodů nerealizován.**
- **V roce 2003 revize projektu s cílem realizovat pilotní experiment.**



ÚVOD

historie projektu

V roce 2003 komplexní vyhodnocení situace aktualizace koncepce sanace horninového prostředí –



**schválená ATPL 2005
Harmonogram tvorby podkladů pro AAR**



Nový přístup k řešení imobilizace kontaminantů:

- laboratorní kolonové experimenty
- modelovací práce
- záměr pilotního experimentu
- pilotní experiment
- vyhodnocení – návrh provozní aplikace



POPIS PROJEKTU

- **Lokalita**
- **Vrtná síť**
- **Imobilizační činidlo**
- **Legislativa**
- **Harmonogram prací**
- **Realizační tým**



POPIS PROJEKTU

lokalita

- **Zaměření na horizont rozpadavých pískovců**
- **Obsah RL v zájmovém horizontu cca 20 g.l⁻¹**
- **Vhodné geologické podmínky (prozkoumanost, tektonika)**
- **Vhodné hydrogeologické podmínky (ustálený stav hladin a proudění)**
- **Dostupnost (komunikace, délka přívodní potrubní trasy)**
- **Vybráno VP 8C**



POPIS PROJEKTU

vrtná síť

- **Stávající technologické vrty – cca 20 vrtů**
- **Vrty odvrtné v období přípravy původního projektu - 2 vrty (VP 8C7000 a VP 8C7001)**
- **Projektované vrty – 5 vrtů**



POPIS PROJEKTU

imobilizační činidlo

- **Výběr činidla – na základě dříve provedených rozborů**
- **Výhled – rozšíření neutralizačních technologií (výstavba NDS 10)**
- **Dostupnost – současný provoz NDS 6**



POPIS PROJEKTU

harmonogram prací

- **Laboratorní ověřovací práce**
- **Hydrogeologický model**
- **Přípravná fáze**
01/2007 – 03/2008
- **Realizační fáze**
04/2008 – 10/2008
- **Vyhodnocení**
11/2008 – ustavení ustáleného stavu



LABORATORNÍ PRÁCE

program a cíle

1. etapa - r. 2004 až 2005

statické dávkové experimenty

- **definovat směsné poměry AV a ZKR, při nichž dochází ke vzniku NMF**
- **kvantifikovat a určit složení NMF**
- **definovat základní soubor minerálních fází pro modelové výpočty**

2. etapa - r. 2005 až 2006

dynamické průtočné experimenty

- **kvantifikovat změny hydraulické vodivosti a volné pórovitosti**
- **určit chemismus protékajících směsných vod**
- **studovat vliv rychlosti průtoku AV na množství NMF**
- **kvantifikovat usazování NMF v pórovém prostředí**



LABORATORNÍ PRÁCE

shrnutí výsledků

a) proudění vod v RP

- preferenčně převážně nepravidelně dislokovanými kanálky s větším průměrem (makropóry)
- pístový charakter (vytěsnění původních ZKR, úzké reakční čelo)
- promíchávání vod i v příčném směru (rychlá difuze)
- druhotné mísení vod v mikropórech a slepých pórech (pomalá difuze), druhotné mísení vod závislé na velikosti průtočné rychlosti (filtrační rychlost vztažená na volnou pórovitost) a poměru volné a stacionární pórovitosti
- celková pórovitost RP 26 % - 28 %, z toho 1/10 až 1/3 vázána na stacionární zónu



LABORATORNÍ PRÁCE

shrnutí výsledků

b) vznik NMF

- na vstupu a uvnitř horninového sloupce převládaly koloidy z Ca(OH)_2 a jehlice sádrovce
- na výstupu velmi jemnozrnné hydroxidy a oxyhydroxidy Fe^{III} a Al koloidní povahy
- uvnitř horninového sloupce zjištěny NMF na bázi Fe^{III} a Al pouze vyjímečně a v zanedbatelném množství
- většina NMF na bázi Fe^{III} a Al z makropórů advektivně vynesena z horninových kolon ve formě koloidů
- množství NMF silně závislé na počáteční solnosti ZKR, dynamice toku AV a poměru stacionární a mobilní zóny

LABORATORNÍ PRÁCE

Dynamické průtočné experimenty



Průtok 110 cm.den⁻¹

**Fotodokumentace průniku precipitátu
horninovým sloupcem v závislosti na
objemu AV injektované do pórového
prostředí vyplněného ZKR o solnosti ~
35 g.l⁻¹**



LABORATORNÍ PRÁCE

shrnutí výsledků

c) hydrodynamická vodivost

- **vyhodnocen pokles propustnosti horniny pouze o 7 % až 24 % v závislosti na počáteční solnosti ZKR (injektováno 6 až 16 pórových objemů AV)**
- **zvýšení rychlosti injektáže AV do ZKR o solnosti $\sim 15 \text{ g.l}^{-1}$ na dvojnásobek mělo za následek prudké snížení tvorby sraženin a propustnost horniny se prakticky nezměnila (pokles o cca 3 %)**
- **pokles propustnosti převážně způsoben postupnou kolmatací výstupní filtrační plochy horninového sloupce NMF**
- **dlouhodobou odstávkou kolony se směsnými vodami (~ 10 měsíců) nedošlo k dalšímu poklesu propustnosti**



LABORATORNÍ PRÁCE

shrnutí výsledků

d) volná pórovitost

- největší pokles volné pórovitosti vyhodnocený z průnikové křivky SO_4^{2-} (~ 18 %) indikován v případě injektáže AV do ZKR o solnosti 35 g.l^{-1} , při solnostech do 15 g.l^{-1} byl pokles maximálně do 6 %,
- 25ti-násobné zvýšení rychlosti průtoku (z 4 cm.den^{-1} na 100 cm.den^{-1}) nemělo v hrubozrnném RP významný vliv na hodnotu volné pórovitosti, mělo však za následek 35ti-násobné zvýšení disperzního koeficientu.



HYDROGEOLOGICKÝ MODEL

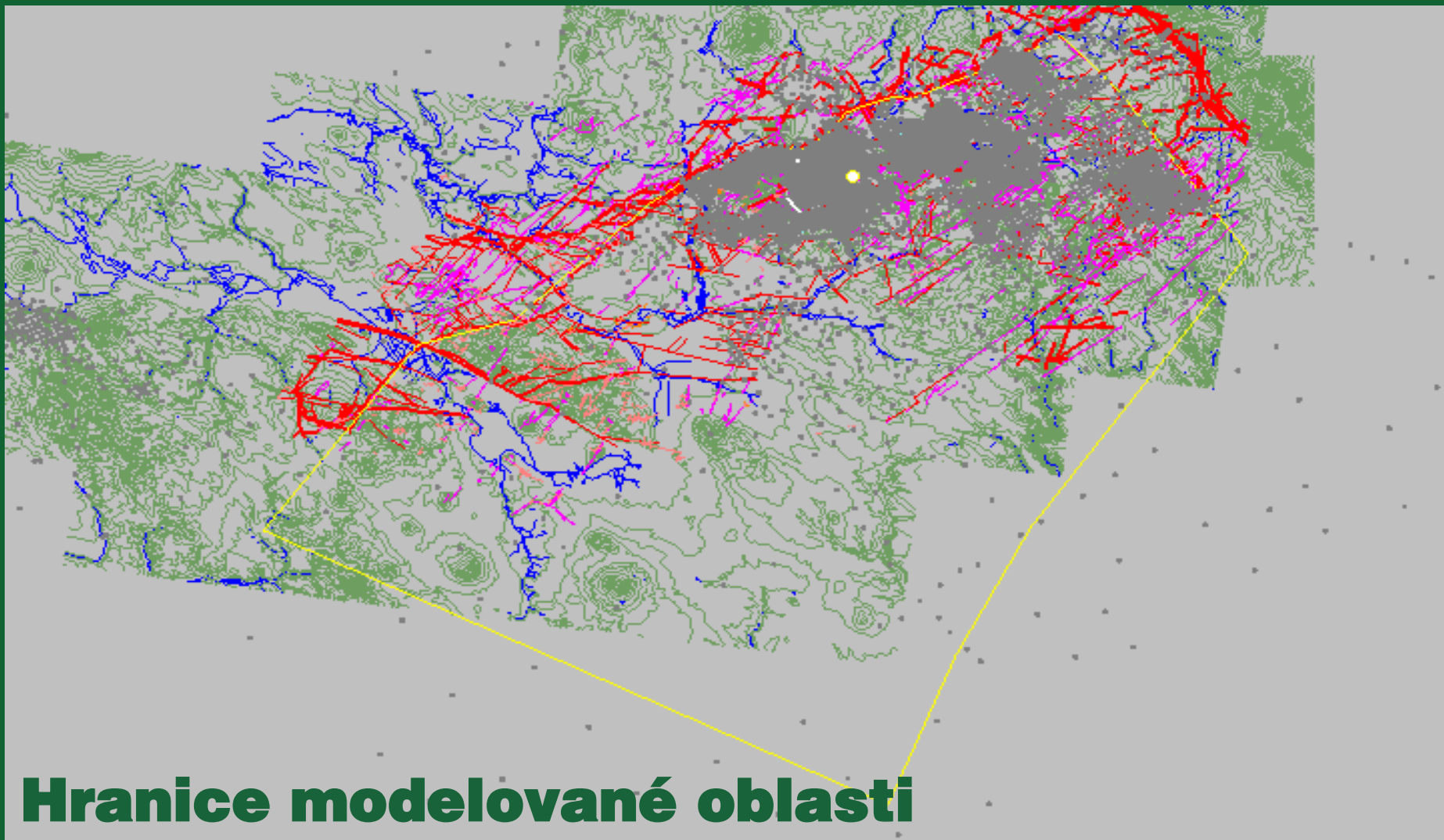
Standardní hydrogeologický model

- **nutná vysoká přesnost výpočtů**
- **pravidelné kontroly přesnosti**
- **používán pro řízení provozu VP**
- **modelové sítě přizpůsobeny úloze**

Nový model chemických reakcí

- **vliv všech složek roztoku**
- **model je plně funkční**
- **pokračuje vývoj**

HYDROGEOLOGICKÝ MODEL



Hranice modelované oblasti





HYDROGEOLOGICKÝ MODEL

Rozsah modelové sítě

Celková plocha modelu: 500 km²

Počet rovinných elementů: 43 826

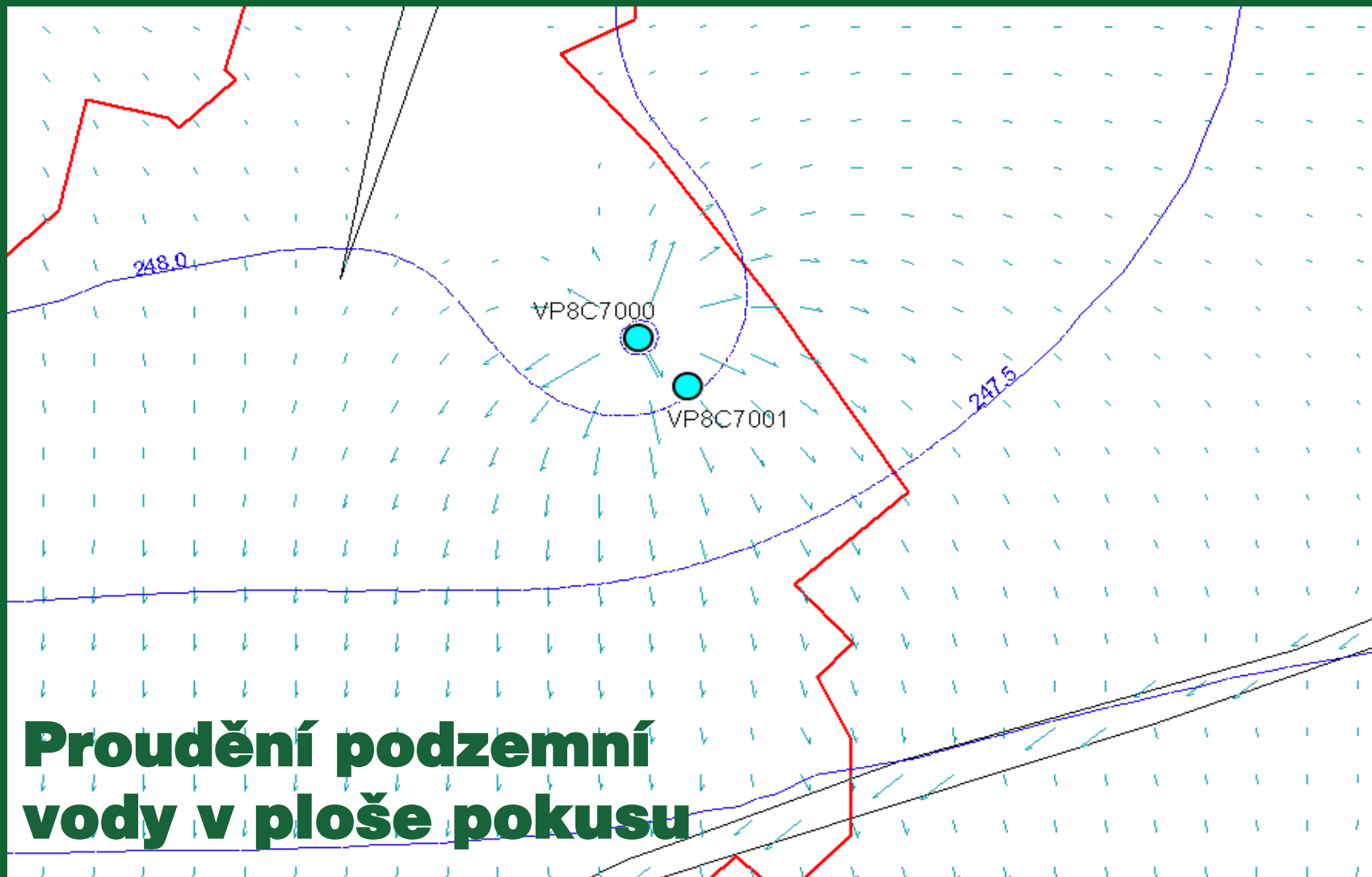
Počet rovinných uzlů: 21 900

Celkový počet elementů: 213 258

V ploše pokusu modelovány detaily o rozměrech 1 až 5 m

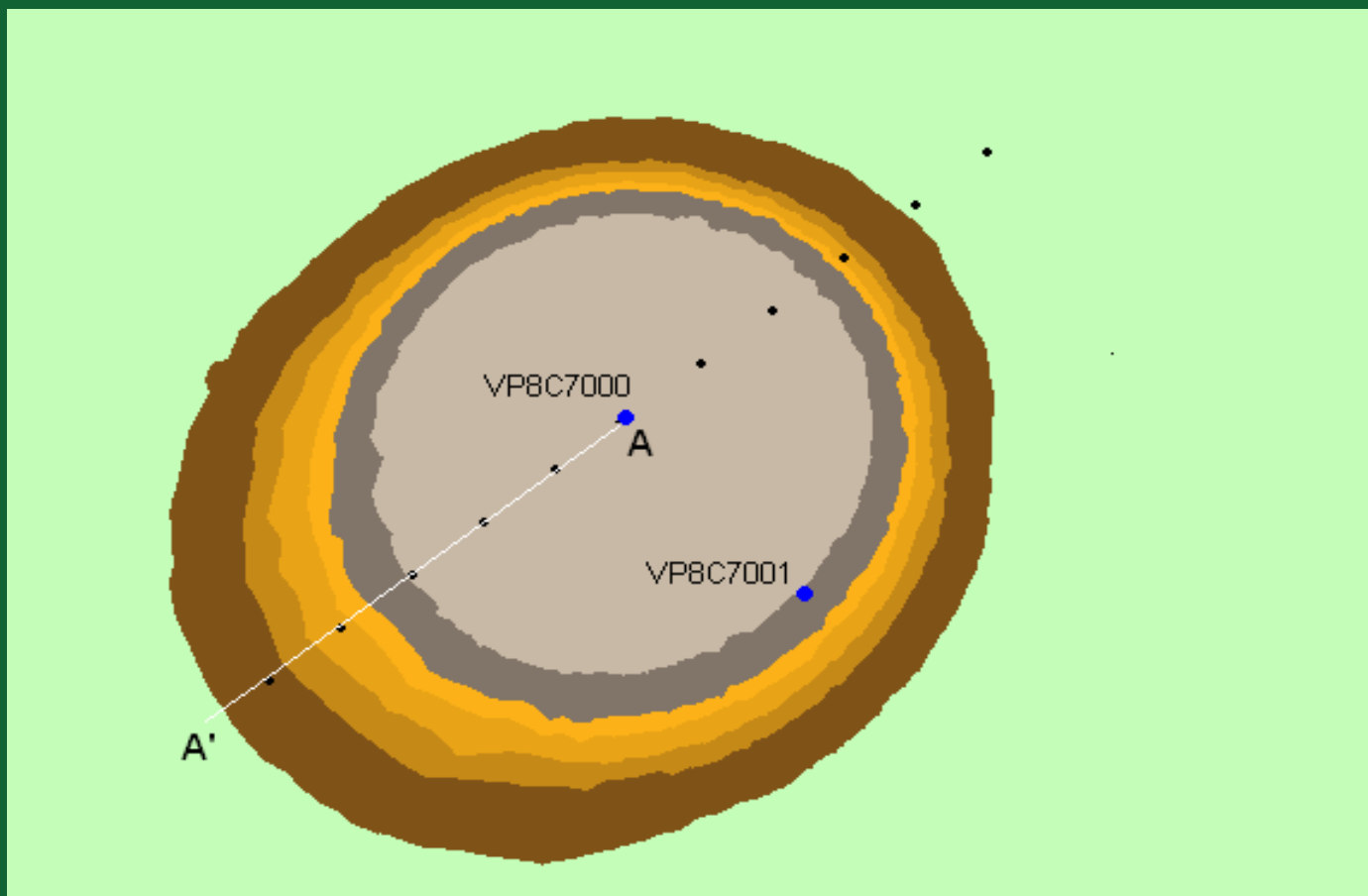
Vtláčení: 100 l.min⁻¹

Doba výpočtu: 1 hodina 19 min



**Proudění podzemní
vody v ploše pokusu**

**Rozložení SO_4^{2-}
180 dnů, vtláčení 100 l.min⁻¹**





PŘÍPRAVNÁ FÁZE

- **příprava potrubní trasy a výstavba technologických zařízení**
- **odvrtání 5 nových vrtů**
- **kontrola technického stavu stávajících technologických vrtů, čištění vrtů**
- **monitoring - dokumentace výchozího stavu**
- **analýzy vzorků vrtného jádra**

PŘÍPRAVNÁ FÁZE

příprava potrubní trasy a výstavba technologických zařízení

- potrubní trasa z NDS 6 na VP 8C (cca 2,5 km)
- oddělovací nádrž filtrátu na NDS 6
- zásobní nádrž na VP 8C
- zásobní nádrž stopovače a dávkovací čerpadlo na VP 8C
- přívod elektrické energie
- měření a regulace

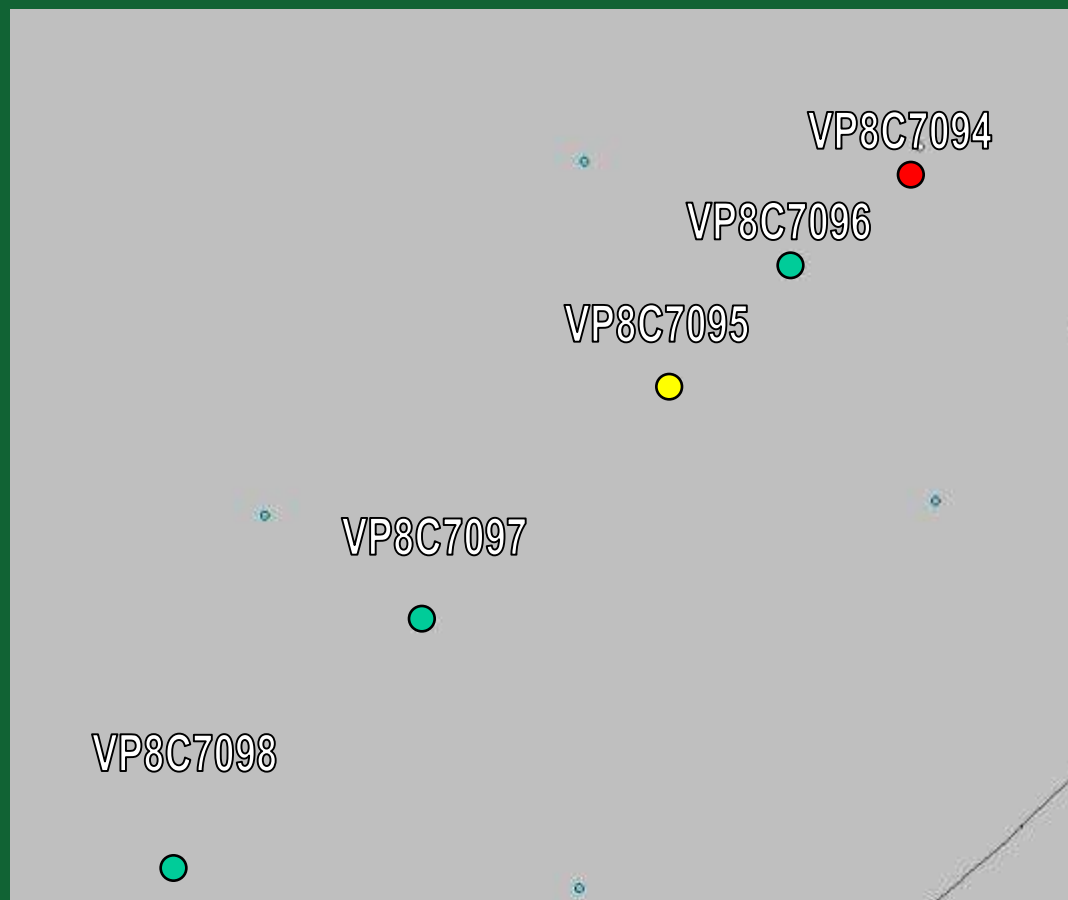




PŘÍPRAVNÁ FÁZE

odvrtání 5 nových vrtů

- **hloubka všech 5 vrtů cca 190 m, perforace přes souvrství rozpadavých pískovců (mocnost cca 15 m)**
- **1 vtláčecí vrt, průměr 160 mm, PE**
- **1 vrt pro zonální vzorkování, průměr 160 mm, Fe, PE, dodatečná perforace**
- **3 pozorovací vrty, průměr 110 mm, PE**

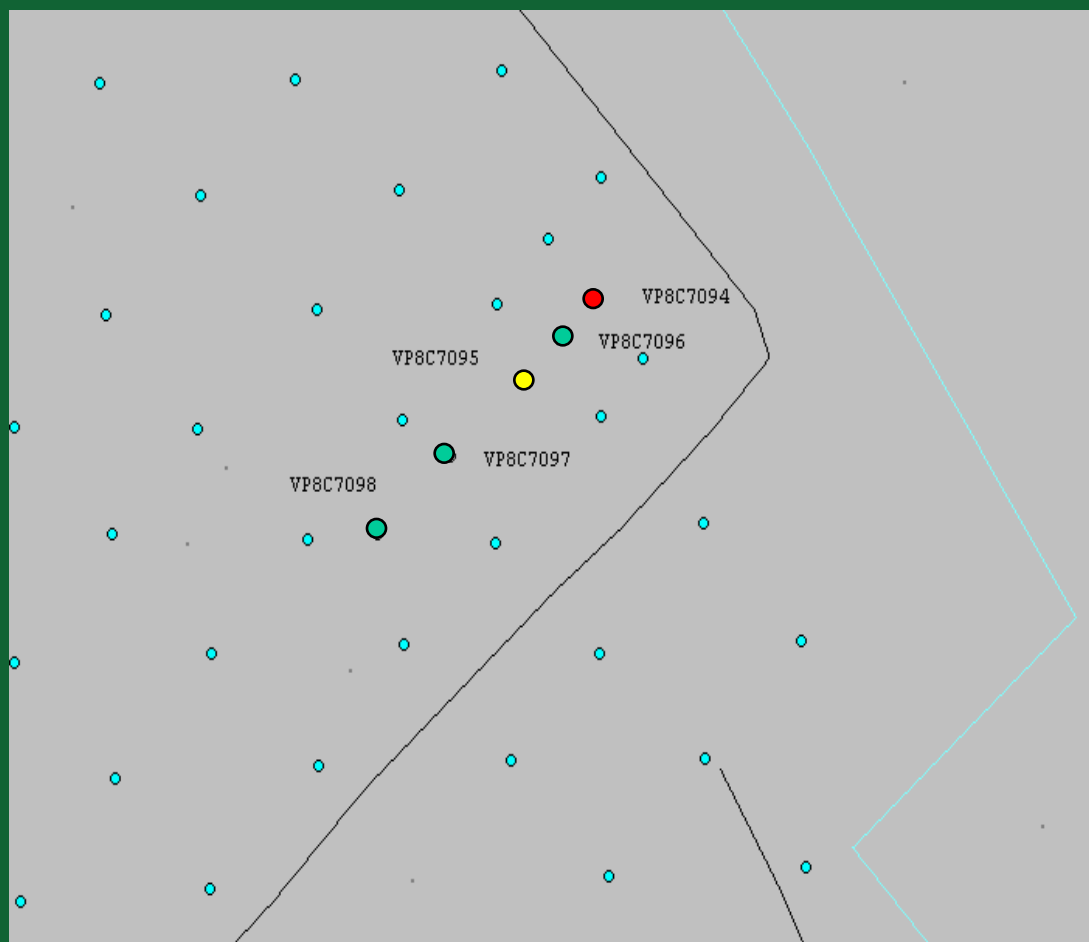




PŘÍPRAVNÁ FÁZE

využití stávajících technologických vrtů

- kontrola technického stavu vrtů v okolí vtláčecího vrtu, využití vrtů jako pozorovacích
- karotáž vrtů (prohlídka TV kamerou, kavernometrie, měření zdánlivého měrného el. odporu)
- vyčištění vybraných vrtů





PŘÍPRAVNÁ FÁZE

monitoring

dokumentace výchozího stavu

- **hydrodynamická zkouška - monitorování případných změn hydraulických parametrů**
- **čerpací zkouška s konstantní vydatností na vtláčecím vrtu VP8C7094**
- **osazení pozorovacích vrtů automatickými stanicemi NOEL pro měření piezometrické úrovně podzemní vody**
- **stanovení T, S, k**



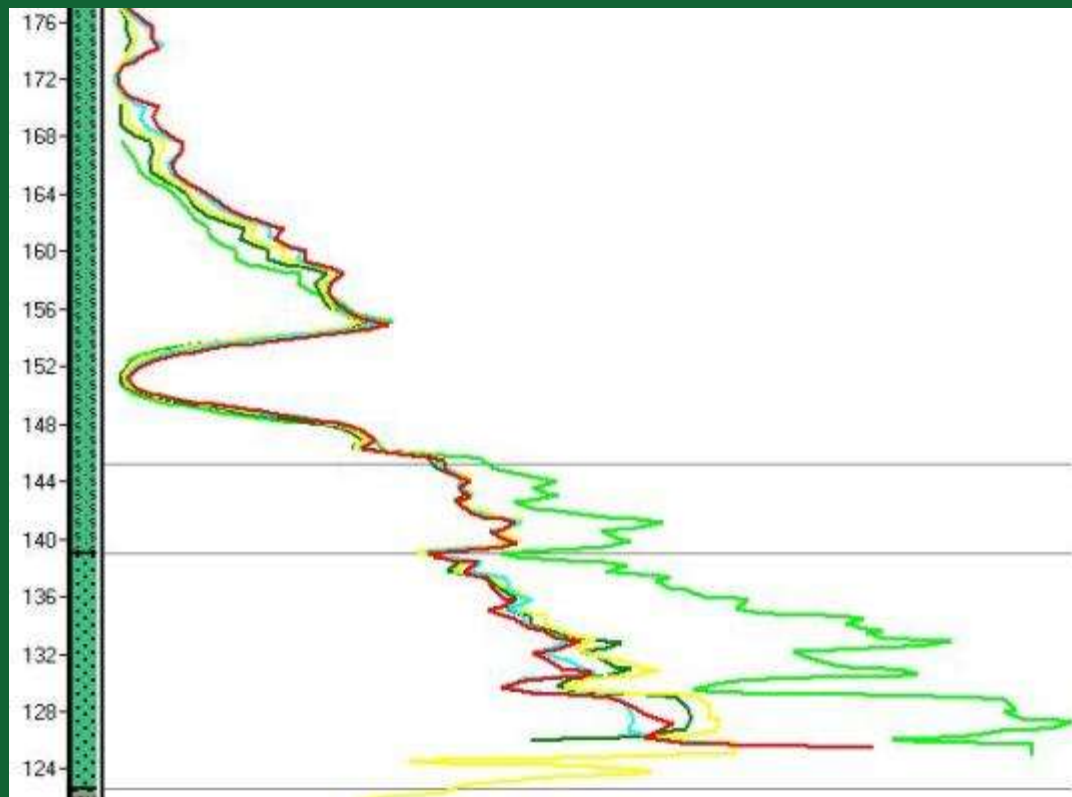
PŘÍPRAVNÁ FÁZE

monitoring

dokumentace výchozího stavu

Karotážní měření:

- u nových vrtů pro určení litologických rozhraní a technického stavu vrtů (soubor 11 metod)
- monitorování vertikálního rozložení kontaminace a jeho změn (metoda IL – stanovení měrné el. vodivosti horninového prostředí)





PŘÍPRAVNÁ FÁZE

laboratorní zpracování vrtného jádra

Jednotná metoda zpracování jádrových vrtů používána v s. p. DIAMO již od r.1996. Z rozborů jádrových vrtů jsou získávány velmi podrobné vertikální profily širokého souboru dat:

- litologie, geochemie hornin,**
- hydraulická vodivost,**
- fyzikální a geomechanické parametry,**
- chemismus pórových vod,**
- celkový obsah a distribuce ekologicky závažných kontaminantů, (zejména NH_4^+ , U, Be) v systému pórová voda / pevná fáze**



PŘÍPRAVNÁ FÁZE

laboratorní zpracování vrtného jádra

Jádrové vrty ve zkušebním polygonu

- vrt vystrojený pro zonální vzorkování:
 - otevření vzorkovacích horizontů na základě výsledků laboratorního zpracování jádra,
- vrty v delším časovém úseku po realizaci pilotního experimentu:
 - sledování dlouhodobých geochemických procesů a případných změn hydraulických parametrů ovlivněných hornin,
 - mísení vod difuzí v 1 m – 2 m mocném kontaktu horizontu RP s oběma sousedními méně propustnými horizonty (sladkovodní rozmyv při bázi a fukoidové pískovce při stropu)



REALIZAČNÍ FÁZE

- **Trvání experimentu**
- **Vtláčený objem roztoků**
- **Monitoring**



REALIZAČNÍ FÁZE

trvání experimentu

- **nepřetržitý provoz**
- **min. 150 dnů**
- **zahájení 04/2008**
- **ukončení 10/2008**



REALIZAČNÍ FÁZE

objem vtlačení

- **objem vtlačného alkalického roztoku cca 200 l.min⁻¹**
- **dávkování „stopovače“ NaCl, výsledná koncentrace Cl⁻ cca 50 mg.l⁻¹**
- **celkový objem vtlačného roztoku cca 50 000 m³**
- **zaplněný objem horniny cca 250 000 m³**
- **předpokládaný plošný rozsah plocha o poloměru cca 70 m**



REALIZAČNÍ FÁZE

monitoring

- **měření piezometrické úrovně podzemní vody (automatické měřicí stanice, ruční měření)**
- **IL-karotáž pro monitorování změn vodivosti roztoků během imobilizačního experimentu**
- **odběr a analýzy vzorků vod**
- **sledování průběhu ustavení chemické rovnováhy v podzemních roztocích**
- **sledování vertikálního složení roztoků v podzemí**



REALIZAČNÍ FÁZE

monitoring

Zajištění monitoringu:

- **harmonogram odběru vzorků a karotážních měření pro jednotlivé vrty před průchodem čela alkalických roztoků**
- **harmonogram odběru vzorků a karotážních měření pro jednotlivé vrty po průchodu čela alkalických roztoků**
- **případné úpravy harmonogramu dle skutečné rychlosti šíření roztoků v podzemí**



VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

přípravná fáze

Hodnocení stavu přírodního horninového prostředí v lokalitě experimentu

- **jádrový vrt VP 8C7095**
- **karotážní měření, vzorkování podzemní vody**
- **měření hladin podzemní vody**
- **hydrodynamická zkouška**
- **zonální odběr vzorků, zjištění směru horizontálního proudění**



VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

realizační fáze

Pravidelné sledování změn v horninovém prostředí

- **provozní údaje o vtláčení a kvalitě imobilizačního činidla**
- **karotážní měření, vzorkování podzemní vody**
- **měření hladin podzemní vody**



VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

fáze dlouhodobého sledování

Hodnocení změn v horninovém prostředí

- karotážní měření, vzorkování podzemní vody
- měření hladin podzemní vody
- kontrolní jádrový vrt



VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU numerické modelování

Simulace pilotního experimentu imobilizace

- proudění, transport, chemické reakce

Prognózní simulace

- proudění, transport, chemické reakce



VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU využití výsledků

- **Zpracování návrhu provozní aplikace metody imobilizace v rámci koncepce sanace**
- **Stanovení cílových parametrů sanace**
- **Součástí vyhodnocení budou pravidelné presentace výsledků a publikace.**



LITERATURA

- **Gombos, L.: *Sanace následků hydrochemické těžby uranu v severočeské křídě – injektáž alkalických vod do zakyseleného pórového prostředí rozpadavých pískovců.***
Sborník pracovního semináře "ZPRACOVÁNÍ A INTERPRETACE DAT Z PRŮZKUMNÝCH A SANAČNÍCH PRACÍ III", str. 52-57, Litomyšl, 5. - 6.12. 2006.
- **Křest'án, P., Peroutka, J.: *Použití karotážních metod v rámci experimentu „Imobilizace kontaminantů in-situ“.***
Sborník konference „OVA ´07 – NOVÉ POZNATKY A MĚŘENÍ V SEIZMOLOGII, INŽENÝRSKÉ GEOFYZICE A GEOTECHNICE“, Ostrava, 17. – 19. dubna 2007



Děkuji Vám za pozornost