

## **SANACE TURONSKÉ ZVODNĚ KONTAMINOVANÉ BÝVALOU TĚŽBOU URANU V SEVERNÍCH ČECHÁCH**

### **Abstrakt**

V průběhu těžby uranové rudy metodou loužení in situ (zředěnou kyselinou sírovou) v cenomanském kolektoru na ložisku Stráž pod Ralskem byl technologickými roztoky kontaminován i nadložní turonský kolektor, který je v oblasti významným zdrojem pitné vody. Kromě plošné sanace turonského kolektoru, která probíhá od roku 1988, je prováděna i sanace ostře prostorově ohraničených oblastí kontaminace s vysokým obsahem rozpuštěných látek (tzv. čoček). Přednáška podává ucelené informace o příčinách vzniku kontaminace, technologických postupech při sanaci turonského kolektoru, bilanci vyvedených látek, současném stavu kontaminace a dalším vývoji sanace.

### **Úvod**

Těžba uranové rudy začala v okolí Stráže pod Ralskem na přelomu 60. a 70. let na třech ložiscích. Metodou hlubinného dobývání byla uranová ruda těžena na ložisku Hamr pod Ralskem (Důl Hamr I) a ložisku Břevniště pod Ralskem (Důl Křižany I). Na ložisku Stráž pod Ralskem (Důl chemické těžby) a části ložiska Hamr pod Ralskem (vyluhovací pole VP 6) byla použita metoda podzemního loužení in situ pomocí zředěné kyseliny sírové. V zájmové oblasti jsou z hydrogeologického hlediska vyvinuty dvě zvodně: cenomanská zvodně s napjatou hladinou podzemní vody a nadložní turonská zvodně s volnou hladinou podzemní vody, která je významným zdrojem pitné vody.

### **Vznik kontaminace a preventivní opatření**

Ačkoli těžba uranové rudy probíhala v cenomanském kolektoru, došlo během těžby i k sekundární kontaminaci nadložního turonského kolektoru, a to především v oblasti Dolu chemické těžby. Způsoby, jakými se technologické roztoky dostaly do turonského kolektoru, jsou:

- úniky technologických roztoků při poruchách povrchových rozvodů a ze skladů, zásobníků chemikálií (prasklé povrchové potrubí, úniky při manipulaci s chemikáliemi, úniky ze zpracovatelských technologií);
- úniky technologických roztoků z netěsných provozních vrtů (tzv. „vrty 1. generace“, zobrazené na Obr. 1, neměly vnější ochrannou Fe pažnici přes turonský kolektor a

v případě netěsnosti vnitřní polyethylenové pažnice u vtláčecích vrtů došlo k úniku technologických roztoků přímo do turonského kolektoru).

Jako ochrana před další kontaminací turonské zvodně se začaly při vrtání cenomanských vrtů používat vrty tzv. „2. generace“ (Obr. 1) mající vnější ochrannou Fe pažnici přes turonský kolektor zasazenou minimálně 10 m do nepropustných hornin mezi cenomanskou a turonskou zvodní. Povrchové rozvody jsou vybaveny mechanismem kontrolujícím tlak v potrubí a několikrát za den se vizuálně kontroluje jejich stav. V současnosti již nedochází k žádné další kontaminaci turonského kolektoru. Dalším nepřímým preventivním opatřením je samotný průběh sanace cenomanské zvodně. Díky trvalému udržování tzv. podbilance cenomanské zvodně (výtláčná úroveň podzemní vody cenomanské zvodně je sanačním čerpáním udržována pod úrovní hladiny podzemní vody turonské zvodně) je zabráněno možnému přetoku cenomanských zbytkových technologických roztoků (ZTR-C) do turonské zvodně.

### **Popis kontaminovaných oblastí a hydrochemická situace**

Kontaminace turonského kolektoru je lokalizována do několika oblastí:

- vyluhovací pole Dolu chemické těžby a těsné okolí (cca 95 % veškeré kontaminace v turonské zvodni);
- vyluhovací pole VP 6 v okolí Dolu Hamr I;
- odvaly jam.

Kontaminaci v turonské zvodni v prostoru vyluhovacích polí a v těsném okolí je možno rozdělit na dvě oblasti. Na plošnou, ostře neohraničenou kontaminaci turonské zvodně na ploše vyluhovacích polí a v těsném okolí, u které převládá rozložení znečištění na celou mocnost zvodnění. Plošná sanace byla v malém měřítku prováděna již od osmdesátých let, nicméně intenzivní sanační práce probíhají až od roku 1996, kdy začala i sanace cenomanské zvodně. Stav kontaminace vyjádřený pomocí plošného rozložení koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  na počátku sanace v roce 1996 a v současnosti je znázorněn na Obr. 2. Kromě plošného znečištění turonské zvodně s nižší hodnotou koncentrace rozpuštěných látek se v turonské zvodni na vyluhovacích polích vyskytují i ostře prostorově omezená místa kontaminace s vysokou hodnotou koncentrace rozpuštěných látek, pro které se používá termín čocky. Sanační čerpání první čocky na vyluhovacích polích VP 8F a VP 9D (odtud název čocky VP8F9D) začalo v srpnu 1998. Od konce roku 2003 je pak v provozu sanační čerpání z 6 čock (VP8F9D; VP9A9B; VP9C; VP10C; VP9B-západ a VP12B). Stav kontaminace v oblasti čock vyjádřený pomocí plošného

rozložení koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  na počátku sanačního čerpání a v současnosti je znázorněn na Obr. 3.

Na vyluhovacím poli VP 6 je turonská zvodně kontaminována plošně. Tato lokalita se chová stabilizovaně a má jen velmi slabě ovlivněnou kvalitu původní vrstevní vody.

V okolí odvalu Dolu Křižany I a odvalů jam č. 1, 2, 3 a 13 Dolu Hamr I se nejedná o kontaminaci turonského kolektoru těžebními roztoky, ale o kontaminaci způsobenou především oxidačními reakcemi v haldách (vzniklých při hlubinné těžbě), jejich promýváním srážkovou vodou a následným vsakem do podzemní vody. Aktivní sanace se zde neprovádí.

### **Monitoring turonské zvodně**

Sledování kvality podzemních vod a ZTR v turonské zvodni (ZTR-T) uvnitř plochy vyluhovacích polí a mimo kontury vyluhovacích polí se provádí odběry vzorků vod prostřednictvím čerpacích a pozorovacích hydrogeologických vrtů. Četnost vzorkování se pohybuje od 1 x za měsíc u trvale čerpaných turonských vrtů až po 1 x za čtvrtletí popřípadě 1 x za pololetí u ostatních vrtů. V roce 2013 bylo vzorkováno celkem 152 turonských vrtů (v kontaminovaných oblastech i mimo). Kromě samotného hydrochemického monitoringu se v turonské zvodni provádí pravidelný monitoring úrovně hladin.

### **Způsoby čerpání a využívané sanační technologie**

Sanační zásah v turonské zvodni spočívá v odčerpání ZTR-T a následné likvidaci kontaminace pomocí povrchových technologií. ZTR-T jsou v oblasti plošné kontaminace již od počátku sanace čerpány ze sítě širokoprofilových sanačních vrtů typu VPCT osazených ponornými čerpadly. Sanační čerpání v oblasti čoček bylo zahájeno na čočce VP8F9D v roce 1998. Při sledování vývoje koncentrace čerpaných roztoků byl zaznamenán prudký počáteční pokles. Po vynucené odstávce v průběhu roku 1999 způsobené výskytem hub a plísní v čerpaném roztoku vytvářejících zákal a znemožňujících jeho další zpracování byl po vymizení zákalu a zpětném spuštění sanačního čerpání zaznamenán opětovný nárůst koncentrace. Tato skutečnost se stala podkladem pro změnu umístění perforací u dalších vrtů. V roce 2000 byly do sanačního čerpání zapojeny čočky VP9C a VP9A9B, v roce 2002 byla do sanačního čerpání zapojena čočka VP10C a v roce 2003 byly do sanačního čerpání zapojeny čočky VP9B-západ a VP12B. V oblasti turonských čoček bylo až do konce roku 2012 sanační čerpání prováděno airliftovým čerpáním z cca 150 štíhlých vrtů o vnitřním  $\varnothing$  90 mm. Z důvodu menší energetické náročnosti, lepší regulace čerpaného

množství kontaminovaných roztoků, navození příznivějšího hydraulického režimu a tím zvýšení celkové efektivnosti bylo rozhodnuto vyvádět ZTR-T ponornými čerpadly z vrtů o vnitřním  $\varnothing$  140 mm. Proto byla provedena optimalizace čerpacích míst z jednotlivých čoček a v navržených místech bylo odvrtno v letech 2011 a 2012 17 širokoprofilových vrtů, které jsou od roku 2013 plně využívány k čerpání ZTR-T.

V letech 1989 až 1992 byly ZTR-T čerpány a po úpravě (neutralizaci) vypouštěny do Ploužnického potoka. Současně byly od roku 1990 čerpány vody ze středu plochy chemické těžby a z jižních vyluhovacích polí a vypouštěny až do roku 1998 do obtokového kanálu ústícího do řeky Ploučnice.

V letech 1991 až 1992 se ke zpracování ZTR-T využívala neutralizační a dekontaminační stanice NDS 10 (bývalá NDS 10). Technologie se skládala z dvoustupňové neutralizace a sedimentace, z kalového hospodářství a chlorace.

Po zahájení provozu stanice likvidace kyselých roztoků (SLKR I) v roce 1996 se ke zpracování ZTR-T až do 1. poloviny roku 2001 využívala integrální součást stanice SLKR I technologie EDR. Jednalo se o membránový sorpční proces. Roztok po filtraci vstupoval do elektrodialyzéru, kde byly vlivem elektrického pole složky v roztoku separovány na základě rozdílné propustnosti ionexových membrán. Vzniklý koncentrát byl čerpán na SLKR I. Diluát se po úpravě a po smíchání s destilátem ze SLKR I vypouštěl do Ploučnice. Kaly vzniklé úpravou se deponovaly na odkališti.

V současnosti jsou vyčerpané ZTR-T zpracovávány v následujících povrchových technologiích:

- čištění v technologii NDS 6 (neutralizačně dekontaminační stanice 6);
- čištění v technologii NDS 10 (nová neutralizačně dekontaminační stanice 10);
- vtláčení do cenomanského kolektoru prostřednictvím vrtů hydrobariéry Stráž.

Provoz technologie NDS 6 zajišťuje zpracování ZTR z cenomanského i turonského horizontu (především z oblasti čoček) při využití odkalištních vod. Vstupní roztoky se neutralizují ve dvou stupních vápenným mlékem a přidáváním  $\text{BaCl}_2$  se odstraní  $\text{Ra}$ . Následuje sedimentace, sedimentované kaly jsou filtrovány na kalolisech a uloženy na odkališti. Sliv ze sedimentace a filtrát z kalolisu se pro odstranění amonných iontů oxidují plynným  $\text{Cl}_2$  a následnou dechlorací roztokem  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  se odstraní zbytkový chlór. Vyčištěná voda je vypouštěna do obtokového kanálu ústícího do Ploučnice.

Rovněž provoz technologie NDS 10 zajišťuje zpracování ZTR z cenomanského i turonského horizontu (ZTR-T z čочки VP12B). Vstupní roztoky se neutralizují ve dvou stupních vápenným mlékem. Kalová suspenze z obou neutralizačních stupňů je filtrována na kalolisech. Kapalná část (filtrát) je přečerpán do druhého stupně neutralizace.

Odvodněný koláč z kalolisů je ukládán v odkališti. Sliv z druhého stupně neutralizace s obsahem čpavku je veden na stripovací kolonu a postupně vystripován na čpavkovou vodu. Tato čpavková voda o koncentraci 25 % je využívána v SLKR I při výrobě kamence, přebytky čpavkové vody jsou expedovány k externím odběratelům. Vystripovaný sliv z paty kolony je vtlačěn do předpolí důlního pole bývalého Dolu Hamr I.

Hydraulická bariéra Stráž je umělé tlakové rozvodí v cenomanské zvodni vytvořené vtlačěním vody do linie vrtů mezi Dolem chemické těžby a bývalým hlubinným Dolem Hamr I. V současnosti je hydrobariéra Stráž provozována za účelem udržování požadované piezometrické úrovně ZTR-C v oblasti vyluhovacích polí Dolu chemické těžby potřebné pro co nejefektivnější sanační čerpání a pro zajištění stability ZTR-C (nezvětšování kontaminované plochy v cenomanské zvodni). Pro potřeby hydrobariéry Stráž se využívají slabě kontaminované ZTR-T čerpané z vyluhovacích polí (plošná kontaminace turonské zvodně), občas i slabě kontaminované ZTR-T vyčerpané z čoček. Omezené objemy ZTR-T jsou jako vody technologické využívány v technologii chemické stanice a dále zpracovávány společně se ZTR-C po sorpci uranu.

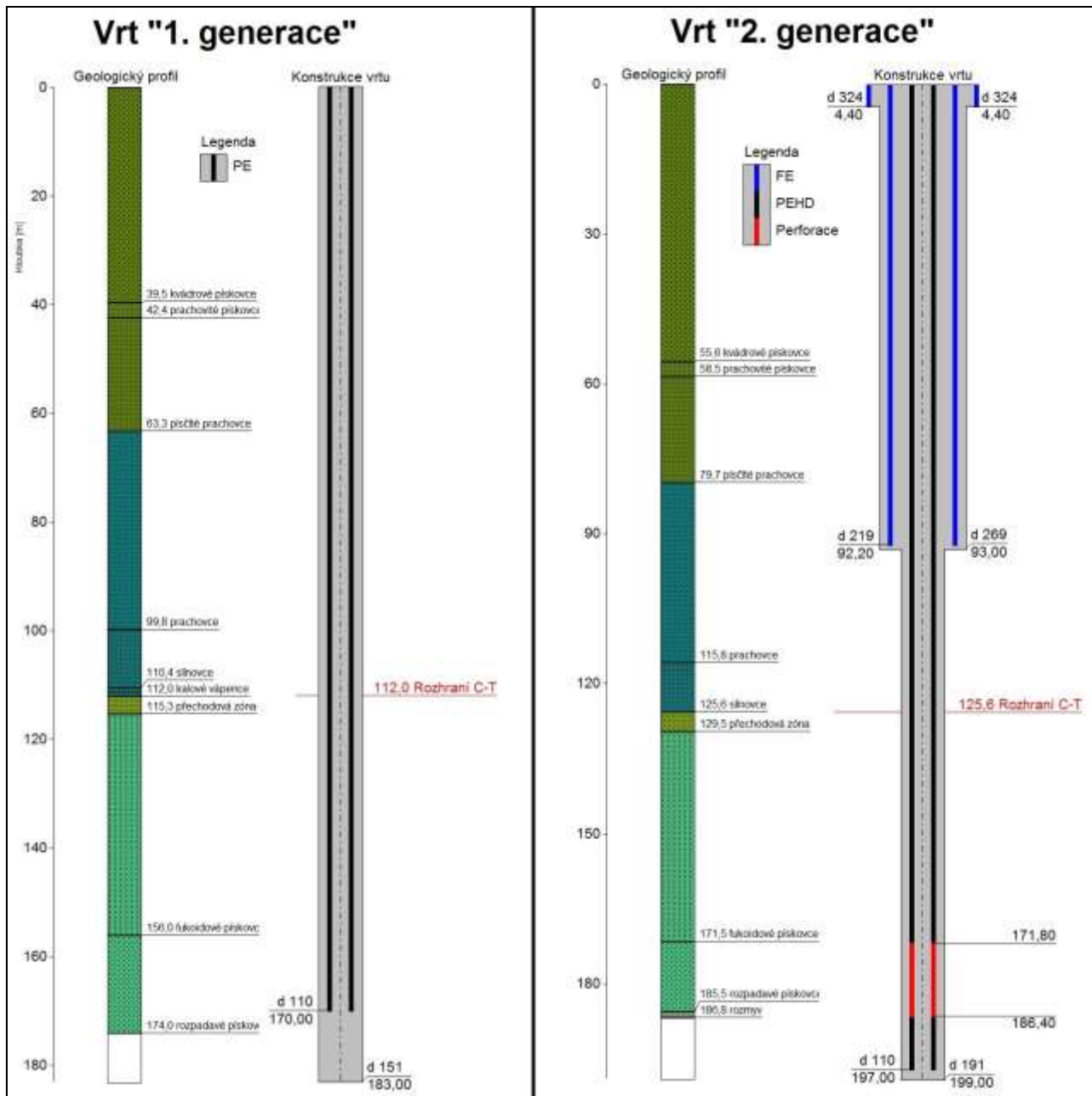
### **Bilance kontaminace v podzemí a vyvedených kontaminantů**

Na rozdíl od cenomanské zvodně, kde bylo možné z množství vtlačených loužících roztoků vypočítat přibližné množství kontaminace v cenomanské zvodni, v turonské zvodni nebylo vstupní množství kontaminantů známé. Z tohoto důvodu se množství kontaminantů v turonské zvodni počítalo složitými a časově náročnými modelovými výpočty, které kombinovaly data z hydrochemického monitoringu (určující parametry kontaminace) a monitoringu karotážního (určující prostorový rozsah kontaminace). Tento modelový výpočet množství kontaminantů v podzemí bylo možné úspěšně použít z důvodu vyšších koncentrací sledovaných složek v ZTR-T. Modelové výpočty byly v relativně dobré shodě s bilancovaným množstvím vyváděných kontaminantů. S postupem sanace docházelo ke snižování koncentrace sledovaných složek a modelový výpočet byl postupně zatěžován rostoucí velkou chybou. Z tohoto důvodu bylo od modelových výpočtů množství kontaminace v podzemí upuštěno. Průběh sanace je tak dokladován jednak samotným monitorováním hydrochemické situace a s tím spojenými trendy ve vývoji koncentrací jednotlivých složek a dále bilancí vyvedených kontaminantů z turonské zvodně. Bilance čerpání ZTR-T a vyvedených kontaminantů (rozpuštěné látky RL,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) z turonské zvodně z prostoru vyluhovacích polí Dolu chemické těžby se vykazuje od roku 1988 (Obr. 4). Celková bilance objemů a vyvedených kontaminantů jen z oblasti čoček je pak uvedena na Obr. 5.

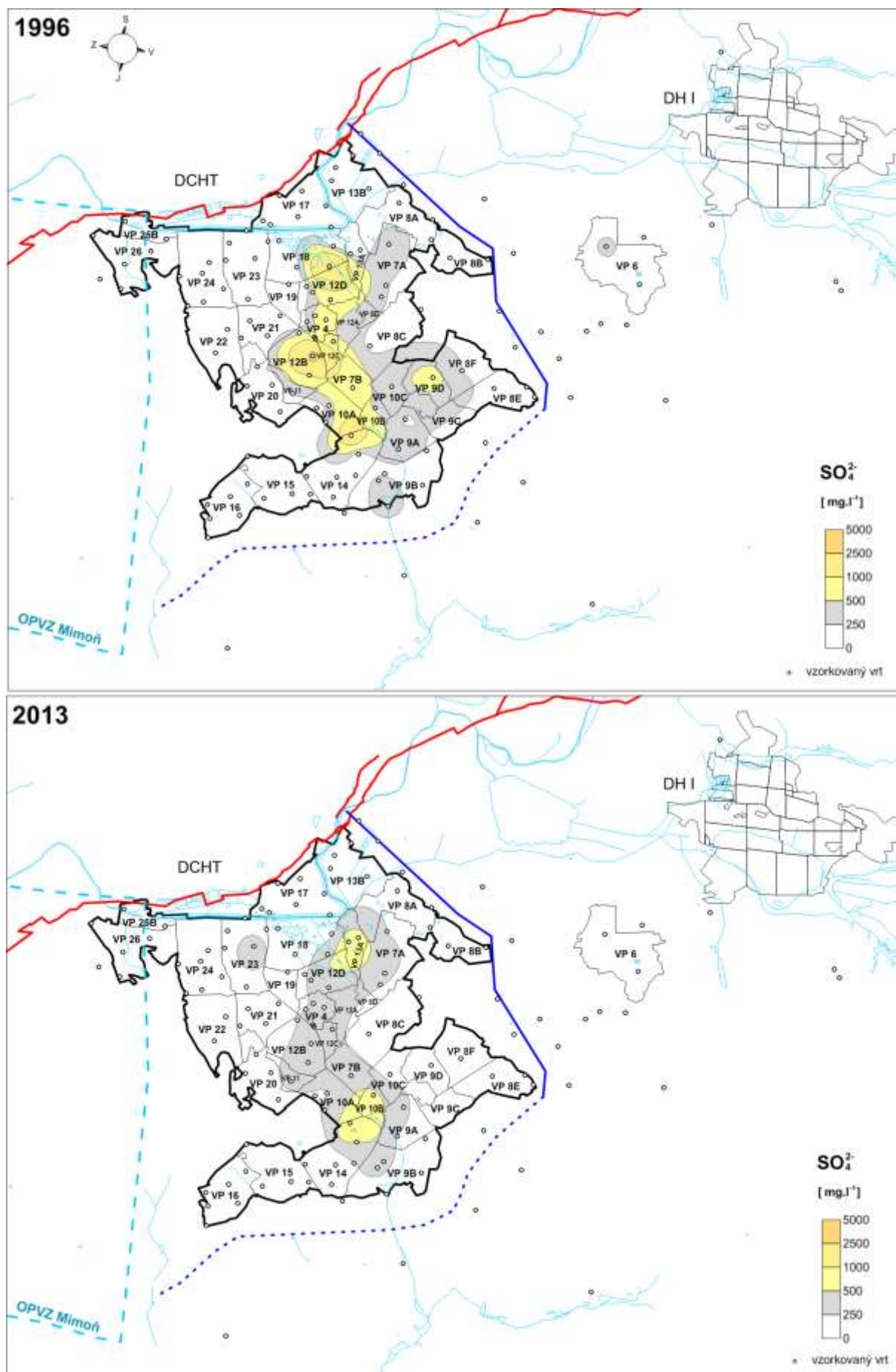
## Závěr

Sekundární kontaminací turonské zvodně během těžby uranu především v oblasti Dolu chemické těžby došlo k ohrožení zásob kvalitní pitné vody. Se sanačními pracemi v oblasti celoplošné kontaminace turonské zvodně se začalo již koncem 80. let 20. století. K intenzifikaci sanace však došlo až po začátku sanace cenomanské zvodně v roce 1996. Sanace turonské zvodně je tak technologicky provázána se sanací cenomanu ku prospěchu obou procesů. Jako příklad lze uvést vtláčení ZTR-T do cenomanského kolektoru hydrobariérou Stráž, nebo použití ZTR-T jako technologické vody v technologii chemické stanice. Spolu se sanací cenomanské zvodně mohla začít i sanace lokálně ostře prostorově omezených míst kontaminace s vysokou hodnotou koncentrace rozpuštěných látek tzv. čoček. Za celou dobu sanace došlo k výraznému zlepšení hydrochemické situace jak v celoplošné kontaminaci turonské zvodně, tak i v oblasti turonských čoček. Od roku 1988 do konce 1. pololetí 2014 bylo z turonské zvodně vyvedeno více jak 43 500 tun kontaminantů ve formě rozpuštěných látek (z toho více jak 24 000 tun  $\text{SO}_4^{2-}$  a 1 500 tun  $\text{NH}_4^+$ ). V dalším sanačním období bude pokračovat stávající způsob čerpání ZTR-T ponornými čerpadly z širokoprofilových vrtů. Výběr čerpaných vrtů bude prováděn především podle vývoje koncentrace kontaminantů, ale je třeba ho přizpůsobit i kapacitám sanačních technologií. Monitoring turonské zvodně bude zachován v současném rozsahu. Předpokládá se, že sanace turonské zvodně bude ukončena v roce 2018. Před ukončením sanace turonské zvodně bude vypracována analýza rizik, která určí přesné cílové parametry sanace a zhodnotí, zda je sanace provedena dostačujícím způsobem. Od této analýzy rizika se pak bude odvíjet ukončení nebo další postup sanačních prací.

Obr. 1: Konstrukce vrtů „1. a 2. generace“

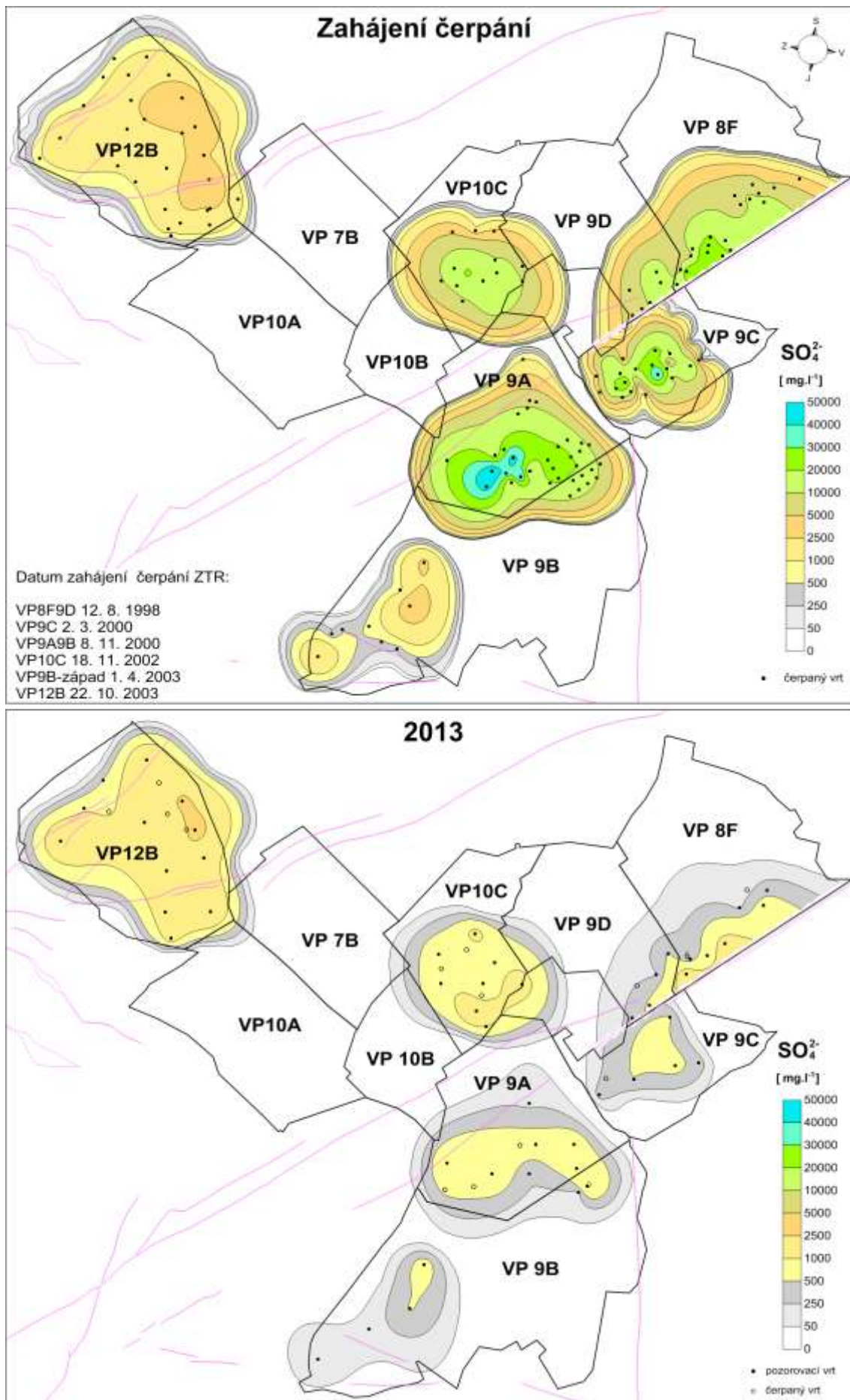


Obr. 2: Koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  v turowské zvodni v roce 1996 a v roce 2013

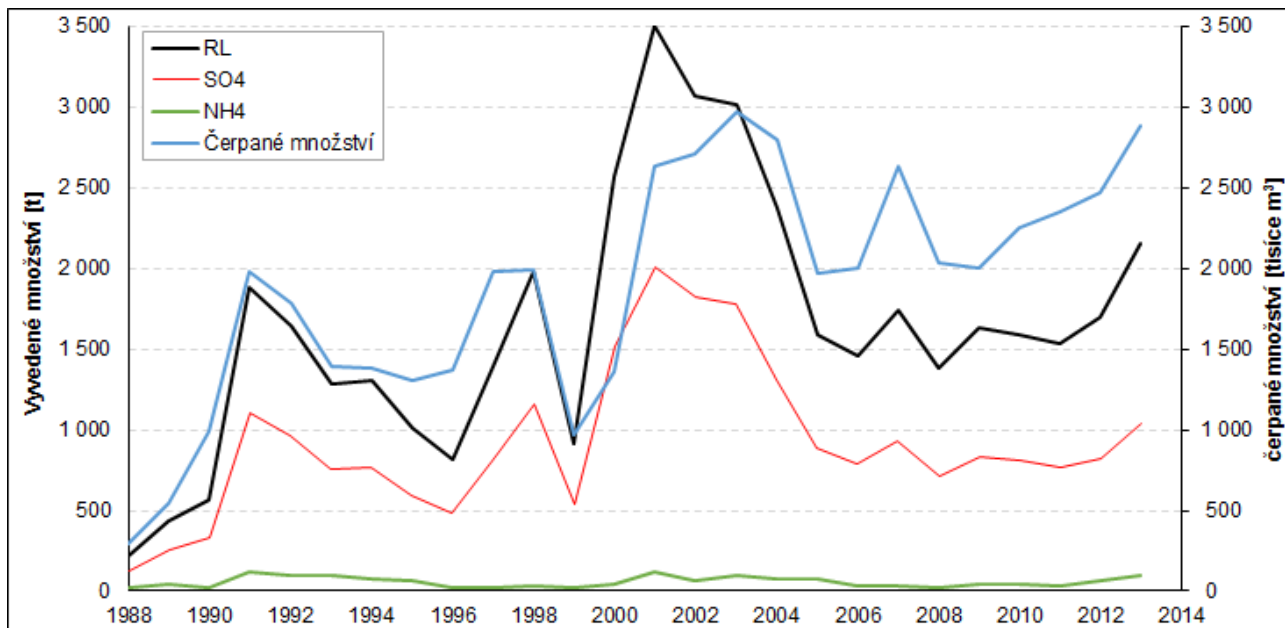




Obr. 3: Koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  v oblasti čoček na začátku čerpání a v roce 2013



**Obr. 4: Celková bilance objemů a vyvedených kontaminantů z turonske zvodně**



**Obr. 5: Celková bilance objemů a vyvedených kontaminantů jen z oblasti čoček**

