

Sborník geologických věd	Hydrogeologie, inž. geologie, 21	Str. 5–36	8 obr.	9 tab.	– příl.	ČGÚ Praha 2001	ISBN 80-7075- 520-2 ISSN 0036-5289
-----------------------------	-------------------------------------	--------------	-----------	-----------	------------	-------------------	---------------------------------------

Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie

History of uranium production in the area of Stráž pod Ralskem (the North Bohemian Cretaceous Basin) and hydrogeology

JAN SLEZÁK¹

Předloženo 14. března 2000

1 : 50 000: 03-31

Key words: Cretaceous formations, Mine hydrogeology, Uranium in situ leaching, Uranium deep mining, Drilling works

SLEZÁK, J. (2001): Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie. – Sbor. Geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 21, 5–36. Praha.

Abstrakt: Předložený příspěvek je z pohledu času i rozsahu provedených prací v oblasti pouze krátkým nástinem problematiky historie a současnosti těžby uranu v severočeské křídě od poloviny šedesátých let do dneška a s ní související hydrogeologická problematika. V průběhu doby se na velmi malé ploše několika desítek kilometrů čtverečných rozvinuly jednak klasická hlubinná těžba, jednak chemická těžba (podzemní loužení in situ). Jejich vzájemné vztahy nazývané „koexistence“ přerostly do velkého negativního ovlivnění životního prostředí, a to převážně ovlivněním režimu podzemních vod a jejich kvality. V průběhu času byly použity obrovské objemy chemikálií pro metodu chemické těžby. Tyto chemikálie byly vtlačeny do podzemí a jsou zdrojem potenciální kontaminace pro široké okolí. Nezanedbatelným je ovlivnění životního prostředí obrovskými odčerpávanými objemy důlních vod a jejich vypouštění do vodoteče. Potenciálním zdrojem možné komunikace mezi zvodněmi jsou vedle přírodních fenoménů i tisíce vrtů. K řešení vzniklé situace vláda ČR přijala koncepci sanace oblasti, která si vyžádá vysoké náklady (desítky miliard Kč) a dlouhý čas (desítky let).

¹ *Geologický odbor, DIAMO, státní podnik, odštěpný závod Těžba a úprava uranu, 471 27 Stráž pod Ralskem*

ÚVOD

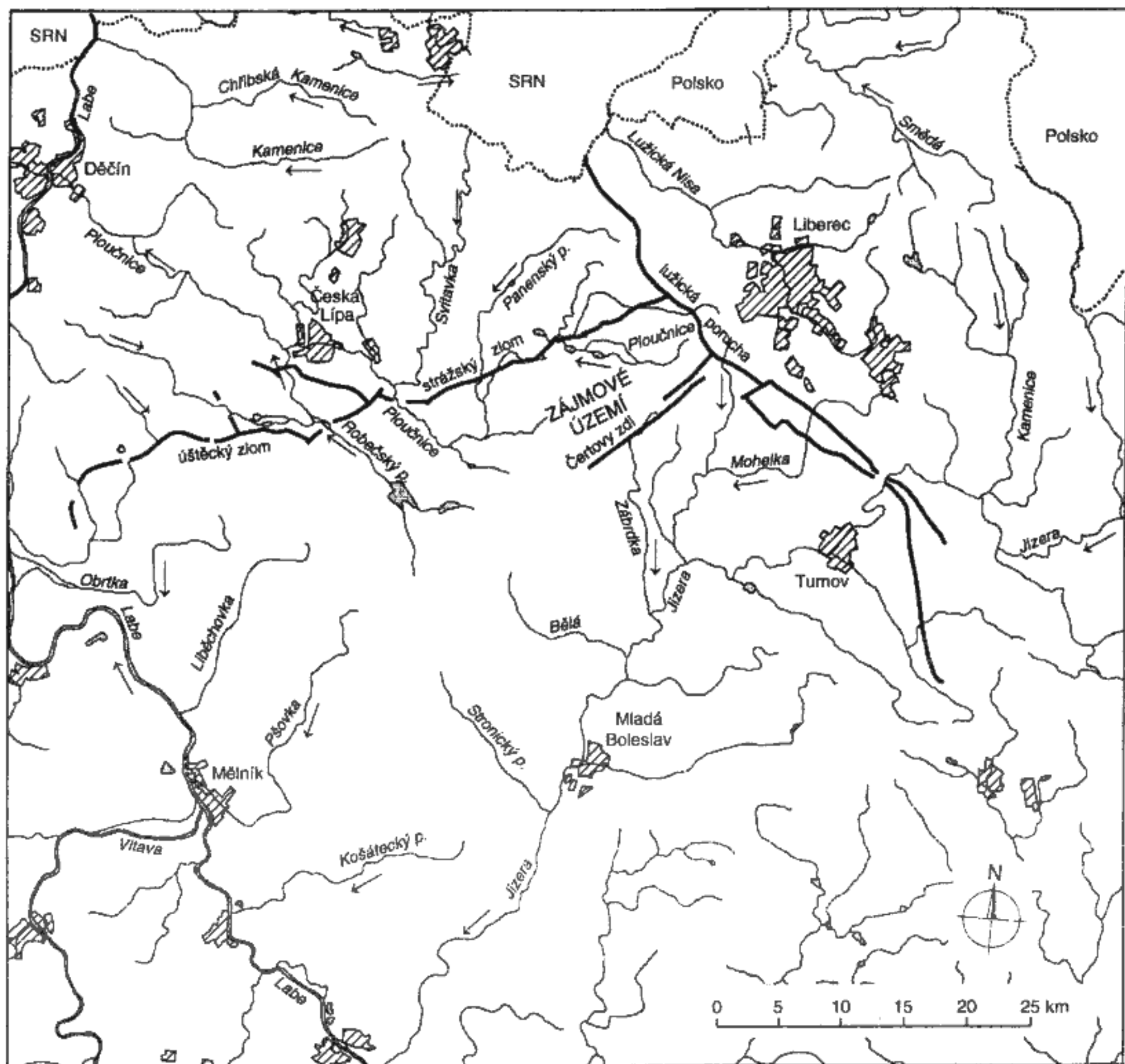
Zájmové území se nachází v severních Čechách ve čtyřúhelníku ohraničeném městy Liberec, Český Dub, Doksy (Bezděz), Česká Lípa. Jde o část oblasti severní části české křídové pánve, tzv. severočeské křídě.

Podle správního rozdělení patří území téměř úplně do okresu Česká Lípa a na SV od Osečné přesahuje jz. hranici okresu Liberec. Osídlení vykazuje značnou nerovnoměrnost a je soustředěno především do měst Mimoň, Stráž pod Ralskem a Osečná. Rozložení sídelních míst je výrazně ovlivněno přítomností bývalého Vojenského výcvikového prostoru Ralsko. Z důležitých komunikací prochází územím silnice I. třídy Mimoň–Jablonné v Podještědí a Česká Lípa–Mnichovo Hradiště. Na základě hospodářské infrastruktury výrazně převládající části okresu Česká Lípa lze oblast označit jako průmyslově zemědělskou. Uplatňuje se zde vliv městských aglomerací, průmyslu, těžby uranu, těžby stavebních surovin, dopravy i zemědělské činnosti. Některé části území jsou turisticky atraktivní (okolí Stráže pod Ralskem a Hamru). Zajímavé a místně vyhledávané jsou Lázně Kundratice u Osečné.

Zájmové území patří geograficky k oblasti české křídové tabule a její největší část Ralské pahorkatině s plynulým přechodem na JV do Jizerské tabule. Ralská pahorkatina je charakterizována zachovanými nebo re-

liktními strukturními plošinami tvořenými křemennými pískovci (střední turon). Jejich rozčlenění hloubkovou erozí vedlo ke vzniku menších skalních měst. Strukturní plošiny mají zpravidla nadmořské výšky okolo 300 až 450 m n. m. V kaňonovitých údolích vodotečí pak klesají nadmořské výšky až o 50 m níže. Morfologicky nejvýraznějšími formami jsou solitérní vrchy s tělesy neovulkanitů na vrcholech. Nejvyšší kótou území je Ralsko se svými 696 m n. m. Výskyt skalních měst se omezuje na z. a jz. svahy Ralska, na oblast j. od Hamru (Ostrovské vrchy). Místa se vyskytují dosti rozsáhlá rašeliniště s písčnými přesypy mezi Hradčany a Doksy. Nad plochý reliéf vynikají solitéry Malá a Velká Buková (432 a 474 m n. m.), Ralsko (696 m n. m.), Holičský vrch (470 m n. m.) a Chrastenský vrch (452 m n. m.). Při sz. okraji zájmového území, pokleslém podle strážského zlomu, tvořeném reliéfem jílovců, prachovců a pískovců s dosti rozsáhlými pokryvy spraší a především podél Ploučnice i říčních teras vystupují dominanty Lipka (473 m n. m.) a Útěchovický Špičák (500 m n. m.). Nežádka se zde setkáme se sesuvy, které tu mají největší rozsah. Na tělesech subvulkanitů se někdy významně uplatňuje mrazové zvětrávání – tvoří se kamenné proudy až kamenná moře a běžně lokální akumulace bloků a kamenů (Ralsko).

Ještědsko-kozákovský hřbet, tvořící hranici zájmové oblasti, se z hlediska geomorfologického členění rozděl-



1. Lokalizace zájmového území v rámci ČR.

luje na Kryštofovy hřbety a na Hlubocký hřbet. Vzhledem k odlišné geologické stavbě jsou na rozdíl od Ralské pahorkatiny odlišné i geomorfologické poměry. Ještědsko-kozákovský hřbet má v zájmovém území směr SZ-JV a byl vyzdvižen podél lužického zlomu. Hřbet je budován paleozoickými a proterozoickými metamorfikami a nejvyšším bodem je na Hlubockém hřbetu kvarcitový suk Ještědu (1012 m n. m.).

Hydrograficky spadá území převážně do povodí Ploučnice. Výjimkou je na SV Zábrdka odvodňující plochu JV pod Osečnou. Vodní plochy jsou tvořeny hradčanskou a hamerskou rybníční soustavou.

Příroda širší zájmové oblasti je pestrá a rozmanitá. Na poměrně malé ploše se tu střídají horské partie s rozsáhlými lesy, pokrývající více než polovinu území, v nižších polohách převládají uměle vysazené borové a smrkové monokultury, ve vyšších polohách jsou to přirozené smíšené resp. listnaté lesy s převahou buku.

Síť zvláště chráněných území podle zákona č. 114/92 Sb. zahrnuje nejceněnější části přírody, u nichž je zachování či zlepšování současného stavu ekosystému nebo jeho dílčích složek nadřazeno hospodářským zájmům. Síť zvláště chráněných území v zájmovém území jz. předpolí je poměrně hustá, což odráží mimořádný biologický a stanovištní potenciál této části Ralské pahorkatiny.

Ve stručném přehledu jde o následující chráněná území: Přírodní rezervace Ralsko, Přírodní památka Vranovské skály, Přírodní památka Černý rybník, Přírodní památka Malý a Velký Jelení vrch, Přírodní památka Stohánek, Přírodní památka Děvín, Ostrý a Schachtstein, Přírodní památka Široký kámen, Přírodní památka Divadlo. Potenciálním chráněným územím jsou rašelinné olšiny u Lázní Kunderatic. K vyhlášení jsou dále připravovány Přírodní rezervace Lipka, Přírodní rezervace Hamerský rybník a Děvínská louka.

I přes značný počet vyhlášených a připravovaných zvláště chráněných území existují v zájmovém prostoru další cenné lokality, které si zasluhují pozornost ochrany přírody. Jde především o nivu Ploučnice mezi Novinami pod Ralskem a Mimoní a dále pod Mimoní až k České Lípě.

Seznam nejčastěji používaných zkratk v textu

ADU	diuranát amonný (amonium diuranate)
AKV	ocel třídy 17 347 (nerez)
CDS	Centrální dekontaminační stanice
CC	čerpací centrum
ČSUP	Československý uranový průmysl
DH	Důl Hamr
DCHT	Důl chemické těžby
DK	Důl Křižany
DV	důlní vody
DP	dobývací prostor
EDR	elektrodialýza reverzibilní
GP	geologickoprůzkumný
GPUP	Geologický průzkum uranového průmyslu
HB	hydraulická bariéra (Stráž, Svěbořice)
HG	hydrogeologický
CHS	chemická stanice
CHT	chemická těžba
CHÚ	chemická úprava
j. č.	jáma číslo
KDV	kyselé důlní vody (cenomanské)
KTV	kyselé turonské vody
MT	membránové technologie
NDS	neutralizační a dekontaminační stanice
NDV	neutrální důlní vody (cenomanské)
NTV	neutrální turonské vody
OHG	oddělení hydrogeologické
OK	obtokový kanál
OS	období sanace
o. z.	odštěpný závod
o. z. CHT	odštěpný závod Chemická těžba
o. z. TÚU	odštěpný závod Těžba a úprava uranu
PE	polyetylen
POS	přípravné období sanace
PP	polypropylen
PV	podzemní voda
RL	celkové rozpuštěné látky
SLKR	stanice likvidace kyselých roztoků
s. p.	státní podnik
TDS	celkové rozpuštěné látky (Total Dissolved Solids – viz RL)
TR	těžební roztok (výluh)
UD	Uranové doly
UP	Uranový průzkum
VP	vyluhovací pole, vyluhovací pokus
ZO	Závod odvodnění

STRUČNÁ GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Horniny **podloží křídý** jsou řazeny k proterozoiku, spodnímu a svrchnímu paleozoiku. Křídové podloží

v okolí Mimoně, v okolí Stráže pod Ralskem, Hamru a Osečné tvoří epimetamorfity sudetika, v nichž lze rozlišit horniny, jak svrchního proterozoika, tak staršího paleozoika. V současné době řazené k ordoviku až siluru. Technickými pracemi zjištěné granitoidy v oblasti Hamru, s apofýzami až u Břevniště a Chrastné, jsou přičleňovány k lužickému plutonu. V území jv. od Mimoně jsou v podloží křídý výběžky mladopaleozoických pánví s výplní autunských a svrchnostefanských sedimentů s melafyry i ryolity.

Horniny **svrchní křídý** jsou zastoupeny sedimenty cenomanu (perucko-korycanské souvrství), turonu (bělohorské, jizerské a zčásti teplické souvrství) a coniacu (zčásti teplické souvrství, březenské souvrství). Perucké vrstvy a korycanské vrstvy a bělohorské souvrství, oproti ostatním stratigrafickým jednotkám, nemají projevy postižení denudací. Výrazné zastoupení křemenných pískovců s negativně gradační cyklickou stavbou vyšších stratigrafických jednotek dovolují křídové sedimenty přiřadit lužickému faciálnímu vývoji. Směrem na JV přecházejí do jizerského faciálního vývoje s nižší četností křemenných pískovců a s převahou slinitých a vápnitých pískovců. Sedimentace křídý vykazuje četné nepravidelnosti, patrné zvláště ve vývoji cyklů (synsedimentární tektonika, migrace facií ap.). Svrchnokřídový komplex byl zastižen ve studovaném regionu v největší mocnosti na Lipce (k. 470 m n. m. západně od Stráže pod Ralskem), která se již nachází v tzv. tlusteckém bloku a kde dosahuje přes 800 m.

Křídový profil je následující:

- *perucké vrstvy* – pestré sladkovodní sedimenty spodního až svrchního cenomanu, představují lokální výplně depresí (jezera, říční toky) v předkřídovém paleoreliéfu, jejich charakter je dán sedimentačním prostorem, netvoří souvislý pokryv, nejvíce jsou vyvinuty v okolí Stráže pod Ralskem a Hamru, maximální zjištěná mocnost 71 m byla u Chrastné,
- *korycanské vrstvy* – mořské sedimenty svrchního cenomanu, báze bývá tvořena transgresními nebo rozmyvovými sedimenty, dále následují většinou středně až hrubě zrnité (tzv. „rozpadavé“) pískovce, nejvýše jsou všude zastoupeny jemnozrné prachovité bioglyfové (tzv. „fukoidové“) pískovce, orientační střední mocnost 40 m–60 m, nejnižší cca 20 m (JZ), největší přes 70 m (SV) včetně „přechodní (tzv. „plenus“) zóny“ mocné 1–5 m,
- *bělohorské souvrství* – mořské sedimenty s litologicky monotónním vývojem, které mají jílovito-prachovitý charakter, určení horní hranice se může lišit podle autorského pojetí (plynulý přechod), orientační střední mocnost 60–70 m, maximální téměř 100 m (Jelení vrchy na J od Stráže pod Ralskem). Na povrch vystupuje pouze v úzkém pruhu sv. od Stráže pod Ralskem, řazeny jsou do spodního turonu s přesahem do středního turonu,
- *jizerské souvrství* – je nemocnějším svrchnokřídovým souvrstvím s výrazně písčitém charakterem (tzv. „kvádrové pískovce“), zachovaná mocnost je otázkou výškové pozice jednotlivých „bloků“ a kolísá v závislosti

na stupni denudace od 0 m až do téměř 400 m (plně zachovaná mocnost v zakleslém tlusteckém bloku), označovány jako mořské sedimenty středního turonu s přesahem do svrchního turonu,

- **teplicko-březenské souvrství** – mořské sedimenty svrchního turonu až svrchního coniak, litostratigrafické rozhraní mezi teplickým a březenským souvrstvím se určuje obtížně, převažuje jílovito-prachovitý charakter hornin, místně jsou však vyvinuty pískovce v desítkách m. Zachovaná mocnost závisí na stupni denudace, ve větším rozsahu se proto vyskytuje pouze v nejvíce zakleslých partiích – tlusteckém bloku (místa téměř 300 m, k. Lipka 350 m), jinde tvoří lokální denudační zbytky nejvyšších kót (Ralsko, Bezděz).

Horniny **terciárního stáří** jsou téměř výhradně reprezentovány pouze neovulkanity. Souvislé výskyty terciárních sedimentů se nezachovaly, jen místy se vyskytují ojedinělé balvany až bloky silicifikovaných pískovců oligocenního až miocenního stáří. Projevy vulkanismu lze sledovat v celé širší zájmové oblasti. Iniciální vulkanismus (I. fáze 87–50 mil. let) s převládajícími nefelinity, polzenity, melilitity a melilitolity) má vztah k hlubokým starým strukturám fundamentu a indikuje jejich

rejuvenaci. V hlavní vulkanické fázi (II. fáze – 42–17 mil. let) převládají bazaltoidy a jejich brekcie nad trachytoidy. V zájmovém území leží hlavní centrum vulkanogenních těles na spojnici obcí Chrástná–Lázně Kunčatic–Rozstání a převládají v nich melility, melilitolity a polzenit. V blízkosti Západní Čertovy zdi probíhá osa osečenského vulkanického centra, tvořená podpovrchovou intruzí melilitolitu, v podobě asymetrického lopolitu s kořenovou zónou v linii Západní Čertovy zdi.

Výsledkem složitého vývoje v **kvartéru** jsou v pestré škále a ve značném plošném rozsahu zastoupené pleistocenní a holocenní sedimenty, které mají mocnosti až první desítky metrů. Nejstarší jsou středopleistocenní proluviální a fluviální štěrky a písky, které tvoří, podobně jako svrchnopleistocenní eolické sedimenty, místy rozsáhlé pokryvy. Významně jsou zastoupeny deluviální sedimenty. Holocenní uloženiny nezřídka obsahují organické sedimenty a vyplňují současná údolí.

Strukturně tektonická stavba oblasti je reprezentována středohorským zlomovým pásmem, tvořeným několika dílčími zlomy. V centru českolipského zlomového pole je zlom okřešický, který východním směrem přechází do hradčanského a na SV ve strážský. Strážský

Tabulka 1. Srovnávací stratigrafie širší zájmové oblasti (podle J. Adamoviče a V. Kleina 1994)

zjednodušené stratigrafické členění křídý a názvosloví užívané v DIAMO, s. p.		chronostratigrafické členění	litostratigrafické členění (S. Čech et al. 1980)		litostratigrafické členění – popis litologických typů
svrchnoturono- -coniacký komplex	prachovce a jílovce s vložkami pískovců	svrchní coniak	březenské souvrství		březenské souvrství: vápnitý jílovec až prachovec, místy slínovec s jemno- až hrubozrnným pískovcem ve vrcholech nahoru hrubnoucích cyklů, v oblasti České Lipy rychlé střídání poloh jílovitoprachovitých a jemně písčitých (flyš)
		střední coniak			
		spodní coniak			
		svrchní turon	teplické souvrství		teplické souvrství: vápnitý jílovec až prachovec, místy nahoru hrubnoucí cyklus, ukončený pískovcem, horní hranice přechodová
střední turon	kvádrové pískovce	střední turon	jizerské souvrství	svrchní část	jizerské souvrství – svrchní část: níže jemnozrnné křemenné pískovce s vápnitými vložkami a štěrčíkovými polohami, výše středozrnné až hrubozrnné pískovce, častý vývoj nahoru hrubnoucích cyklů
				střední část	jizerské souvrství – střední část: na bázi jemnozrnný křemenný pískovec na jihu vápnitý, výše středo- až hrubozrnný pískovec, často v nahoru hrubnoucích cyklech, v okolí Mimoně se sekvencí převážně jemnozrnného pískovce
				spodní část	jizerské souvrství – spodní část: níže jílovitý prachovitý pískovec, na bázi slabě vápnitý, výše přechází pozvolně nebo rychlým střídáním do středo- až hrubozrnného křemenného pískovce s valouny
spodní turon	prachovce slínovce kalové vápence	spodní turon	bělohorské souvrství		bělohorské souvrství: vápnitý prachovec, při bázi až slínovec nebo i jílovitý vápenec, v bazální poloze fosfatové konkrece a místy glaukonit, při vrcholu jemně písčité prachovce až pískovce, horní hranice – většinou pozvolný přechod
mořský cenoman	přechodová zóna fukoidové pískovce rozpadavé pískovce	svrchní cenoman	korycanské vrstvy		korycanské vrstvy: místy bazální brekcie až slepenec, výše rozpadavý, špatně vytříbený středo- až hrubozrnný pískovec s polohami jemnozrnného jílovitého pískovce a vzácně jílovce, výše jemnozrnný křemenný pískovec, dobře vytříbený v nadloží s jemnozrnným jílovitým pískovcem s bloturbacemi, vrchol – prachovec (jílovec) s glaukonitem
	rozmyv	střední cenoman			
sladkovodní kontinentální cenoman	sladkovodní cenoman	spodní cenoman	perucké vrstvy		perucké vrstvy: bazální brekcie, výše přechod do nevytříbeného pískovce, prachovce a uhlénoho jílovce s vložkami brekcií, někdy více nahoru zjemňujících cyklů

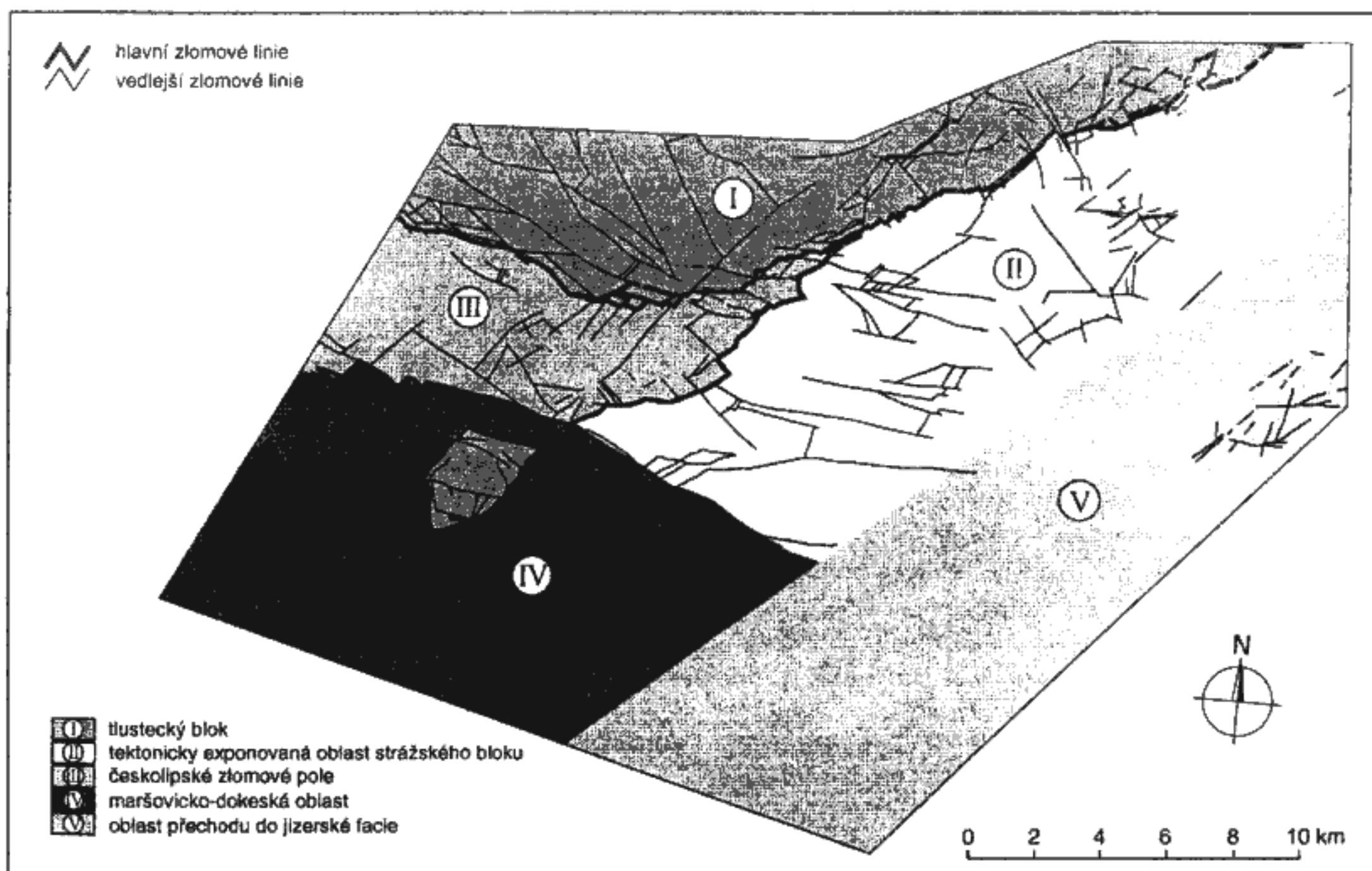
zlom pak končí na SV na lužickém zlomu směru SZ-JV.

Proměnlivost a nerovnoměrnost tektonického poškození území je vysvětlována stykem tří základních strukturních jednotek Českého masivu v podloží křídý Českolipska – bohemika, sudetika (lugika) a saxothuringika – a průběhem středohorského zlomu. Dědičnost struktur je patrná jak ve složitém průběhu, tak i v šířce pásma středohorského zlomu, který je povrchovým projevem hlubinného litoměřického zlomu. Uvedená situace vyvolala složitou strukturně geologickou stavbu s., sz. a z. části zájmového území. Největší význam má strážský zlom, sledující generelní směr SV-JZ s úseky směru VJV-ZSZ a V-Z. Jeho průběh je komplikován četnými příčnými zlomy a navíc i kernou stavbou. Omezuje sv. část českolipského zlomového pole a odděluje dva strukturně, stratigraficky a hydrogeologicky odlišné bloky – vyšší strážský blok, tektonicky relativně méně porušený, a zakleslý tlustecský blok.

Severně od okřešického zlomu vychází na povrch v podstatě již jen březenské souvrství ve facii pelitů, psamitů i ve flyšoidní facii. Na hlavní zlomové linii strážského zlomu se stýkají pískovce jizerského souvrství ve vyšší kře s pelity nebo pískovci březenského souvrství nižší kry. Členitý reliéf místy až charakteru skalních měst v území křemenných pískovců jizerského souvrství kontrastuje s měkkým reliéfem, tvořeným pelity a obvykle méně pevnými pískovci březenského souvrství. Proto je průběh hlavních zlomů až na výjimky morfologicky patrný.

Lužický zlom dosahuje délky více než 100 km. Začíná mimo území České republiky a pokračuje k Turnovu. V západní části na něm došlo k přesunutí lužického masivu na svrchnokřídové uloženiny, ve v. části k Turnovu přechází ve flexuru. Z porovnání s úplnou mocností vrstevního sledu sedimentů svrchní křídý je usuzováno na výšku skoku nad 1000 m.

Závěrem je nutno zmínit strukturní poměry neovulkanitů. Převažujícím tvarem neovulkanitů (subvulkanitů) jsou pravé žíly, převažující orientací těchto žil je krušnohorský směr (SV-JZ) a strmý úklon k SZ (80–90°). Radiální žíly se vyskytují ojediněle (Ralsko). Izometrická tělesa subvulkanitů jsou tvořena převážně bazaltoidními brekciami nebo opakovanými intruzemi bazaltoidů do starších diatremových struktur. Izometrická tělesa subvulkanitů bez podrcení okolí jsou v širší zájmové oblasti vzácná. Vulkanické brekcie (diatremy) dosahují ve vulkanických centrech velkého plošného rozsahu (na J – Brenná, Provodínské kameny), jinde byly zjištěny v menším rozsahu (Ralsko, Stráž pod Ralskem, Hamr, Jelení vrchy). Diatremy poskytují často velké množství xenolitů z podloží i okolní křídý a jsou doprovázeny puklinovým lemem. Velké diatremy se vyskytují na křížení hlavních zlomů (Brenná) nebo v jejich ohybech (Provodínské kameny). Vulkanismus je často vázán na úseky hlavních zlomů, které představují tektonicky a vulkanicky aktivní zóny. V závislosti na těchto zónách lze vymezit mineralogicko-petrografické a chemické provincie a subprovincie.



2. Bloková stavba zájmového území a jeho okolí.

STRUČNÁ HYDROGEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území je tedy definováno rozsahem hydrogeologické struktury strážského bloku a přilehlého hydrogeologického povodí středního turonu Robečského potoka. Od lužické poruchy je na SZ ohraničeno průběhem strážského zlomu, směrem k Z pokračuje po okřešickém zlomu až do údolí Robečského potoka. Západní okraj tvoří hydrogeologická rozvodnice turonské zvodně v povodí Bobřího potoka. Na jz. okraji probíhá podél linie středohorského zlomu k maršovické elevaci, kde se stáčí k JV po hydrogeologické rozvodnici středního turonu mez Robečským potokem a tokem Liběchovky. Po hydrogeologické rozvodnici turonské zvodně pokračuje severovýchodním směrem přes Bezděz a podél linií Čertových zdí až k lužické poruše, která tvoří severovýchodní hranici zájmového území.

Cenomanský tlakově zvodněný kolektor je ve většině zájmového území tvořen dvěma vrstvami mořského cenomanu – tzv. „rozpadavými“ pískovci a tzv. „fukoidovými“ pískovci s orientační střední mocností 40–60 m. Tyto polohy náležejí korycanským vrstvám. Na bázi se ještě místně vyskytují málo propustné pískovce pásma tzv. „rozmyvu“ (brakické sedimenty) a sedimenty sladkovodního cenomanu (perucké vrstvy) s celkovou mocností až 30 m (velmi málo propustné). K dotaci cenomanského kolektoru zájmového území dochází v současné době na jeho výchozech při lužické poruše (podle modelových výpočtů cca $70 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) a přetokem z nadložního turonského kolektoru hlavně v místech porušení spodnoturonského kolektoru (celkem cca $220 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$). Přes okřešický zlom je ze sousední zakleslé hydrogeologické struktury tlusteckého bloku cenomanský zvodněný kolektor dotován množstvím cca $12 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Odtok cenomanských vod směřuje k J a JZ (v neovlivněném stavu). Odtok na J a JZ činí cca $28 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. V současnosti nevýznamná část cca $5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ cenomanských vod vertikálně přetéká do nadložního turonského kolektoru. Průtočnost cenomanského kolektoru se pohybuje v řádu 10^0 až $10^2 \text{ m}^2 \cdot \text{den}^{-1}$. Při uvažování průměrných hodnot efektivní pórovitosti, hydraulického spádu a koeficientu filtrace proudí cenomanská podzemní voda v přirozeném stavu rychlostí $0,03$ – $0,04 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$. Jde však o průměrné regionální hodnoty, jež se lokálně mohou výrazně lišit. Zvodnění v cenomanském kolektoru má tlakový charakter v celém zájmovém území s výjimkou hluboké deprese v okolí hlubinného dolu v Hamru a úzkého pruhu kolem lužické poruchy.

Stropní „izolátor“ cenomanského kolektoru je tvořen bělohorským souvrstvím (spodní až střední turon), které odděluje turonský kolektor. Toto souvrství s orientační mocností 60 m–70 m je místy redukováno pouze na cca 30 m. Zároveň je narušeno tektonikou, tělesy neovulkanitů a velkým počtem vrtů (především díky průzkumu a těžbě uranu). Kombinace všech těchto fenoménů způsobuje, že z regionálního pohledu není možno souvrství hodnotit jako izolátor, ale pouze jako poloizo-

látor. Poloizolační charakter bělohorského souvrství je v zájmovém území prokázán hydrologickými bilancemi i modelovými výpočty a má zásadní vliv na koncepci sanace přírodního prostředí ovlivněného při těžbě uranu.

Turonský zvodněný kolektor je v zájmovém území litologicky tvořen převážně jemnozrnnými až hrubozrnnými pískovci, vzácněji jílovito-prachovitými, s vložkami drobných slepenců. Litostratigraficky tyto horniny náležejí jizerskému souvrství. Turonská zvodně má volnou hladinu a dosahuje mocnosti až 150 m (v českolipském zlomovém poli až 250 m). Zvodně je dotována především infiltrovaným podílem atmosférických srážek. Velikost tohoto podílu závisí na intenzitě srážek, vegetačním profilu, reliéfu terénu, hloubce hladiny podzemní vody a na dalších faktorech. Z hydrologické bilance vychází velikost specifických přírodních zdrojů zájmového území od cca $3,4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (na JZ – povodí Robečského potoka) do cca $7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (na SV – horní povodí Ploučnice k profilu Stráž). Celková hodnota přírodních zdrojů (infiltrace srážek) v zájmovém území činí cca $2070 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Při vhodných tlakových poměrech turonskou zvodně dotuje podzemní voda cenomanského kolektoru. K odvodnění podzemních vod turonského kolektoru v zájmovém území dochází do povrchového toku řeky Ploučnice a jejích přítoků (cca $1110 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$) a do Robečského potoka a jeho přítoků (cca $680 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$). Regionální hodnoty koeficientu filtrace turonského kolektoru se pohybují v rozmezí řádů 10^{-1} až $10^1 \text{ m} \cdot \text{den}^{-1}$. Průtočnost kolísá v závislosti na propustnosti a mocnosti zvodněného kolektoru v řádu 10^0 až $10^3 \text{ m}^2 \cdot \text{den}^{-1}$. Podzemní voda turonského kolektoru je významně jímána především v horní části Robečského potoka (cca $33 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ v okolí Doks), dolní části povodí Robečského a Bobřího potoka – cca $175 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (jímací území Česká Lípa-jih) a sv. od Mimoně – cca $20 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Větší technologické odběry provádí s. p. DIAMO v oblasti vyluhovacích polí chemické těžby ložiska Stráž, na hydraulických bariérách Stráž a Svěbořice a nepravidelně na jámě Lužice (celkem cca $100 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

Chemismus podzemních vod turonského a cenomanského kolektoru je blízký. **Turonské vody** se řadí převážně do hydrogenuhlíkatové formace vápnickové facie, celková mineralizace se orientačně pohybuje od $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ do $300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Kvalita vod je velice dobrá, místně mohou být sice překročeny u některých látek limity ČSN 75 7111 (např. u železa, manganu nebo amonných iontů), vždy však jde o vody bezproblémově upravitelné na vody pitné. Výjimkou je samozřejmě areál chemické těžby uranu na ložisku Stráž, kde došlo ke kontaminaci především sírany, amonnými ionty a radionuklidy, a lokality v prostoru bývalého VVP Ralsko (okolí Hradčan, Kuřivod, Hvězdova, Svěbořic), kde došlo ke kontaminaci především chlorovanými uhlovodíky, ropnými látkami a polychlorovanými bifenyly. Turonský kolektor má přebytek využitelných přírodních zdrojů podzemních vod a při zvážení všech rizik je možné rozšířit jejich využití. **Cenomanské vody** jsou většinou stejné formace a facie jako turonské vody, cel-

ková mineralizace je ale o něco vyšší (150–600 mg · l⁻¹). Zásadním rozdílem oproti turonským vodám je vysoký obsah radionuklidů, především radia, jehož obsah je u cenomanských vod asi o 2 řády vyšší, než u turonských vod a v průměru se pohybuje okolo 10 Bq · l⁻¹ (na ložiscích uranu až 30 Bq · l⁻¹). Tato skutečnost způsobila nevyužívání cenomanských vod a do budoucna se zřejmě situace nezmění, pokud budeme uvažovat kontaminaci cenomanské zvodně na ložisku Stráž.

Na proudění podzemní vody obou kolektorů, které mají průlinově puklinovou propustnost, má vliv výrazná heterogenita propustnosti v liniích významných zlomů a vulkanických žil. Většina žilných těles má směr SV-JZ, tedy paralelní s generelním směrem proudění. Vzdouvací účinek žilných těles na hladinu podzemní vody cenomanského kolektoru je tedy minimální, avšak dochází ke zvýšené propustnosti ve směru těchto linií. Vertikální posun ker podél tektonických linií způsobuje redukci průtočného profilu (nasycené mocnosti) kolektoru, což v případě směru zlomu kolmo na proudění vyvolává vzdouvání hladiny podzemní vody. Tektonické linie tvoří potenciální preferenční cesty vertikální komunikace podzemních vod cenomanského a turonského kolektoru. Intenzita komunikace závisí na charakteru zlomu (otevřenosti, výplni), vertikálním posunu ker zlomu a rozdílu hladin obou kolektorů.

Závěrem ještě nutno zmínit i poměry v tlusteckém bloku tak, aby byla hydrogeologicky charakterizována i sz. část zájmové oblasti. Hlavním rozdílem oproti již popisovanému zájmovému území je zde odlišný typ zvodnění turonského kolektoru a existence coniackého kolektoru. Turonský kolektor má tlakové zvodnění a velkou mocnost (až 400 m). Využití významných zásob pitných vod této zvodně, schválených v kategorii C1, brání situace v oblasti chemické těžby na ložisku Stráž (svrchní část turonského kolektoru tlusteckého bloku je vystavena proti cenomanskému kolektoru strážského bloku). Stropní izolátor turonského kolektoru tvoří spodní část teplicko-březenského souvrství (svrchní turon až coniak), které má ve svrchní části vyvinut nevýznamný coniacový kolektor. Tento coniacový kolektor nemá souvislé zvodnění, v důsledku litologického vývoje jsou zde často lokálně izolované plochy s tlakovým zvodněním, volnou hladinu má jenom nejvyšší část kolektoru.

Dosavadní prozkoumanost zájmového území je značně nerovnoměrná, což vyplývá především z:

- nerovnoměrného pokrytí území jak starším geologickým mapováním bez dokumentace (1915–1952), tak novějším s písemnou dokumentací 1953–1991),
- existence území intenzivního vyhledávacího a podrobného ložiskového průzkumu uranu, sklářských písků a štěrkopísků, kde na relativně malých plochách byly realizovány často značné objemy technických, především vrtných prací,
- hustoty dokumentace geologického mapování ČSÚP ze 70. až 80. let v územích ložiskového průzkumu v měřítku 1 : 10 000 a ve větších měřítcích,

- existence městských aglomerací (Česká Lípa, Mimoň, Bělá pod Bezdězem, Stráž pod Ralskem) s kumulací hlavně inženýrskogeologických prací,
- existence bývalého VVP Ralsko s velmi řídkou hustotou geologických a geologickoprůzkumných prací v některých jeho částech.

Zájmové území mělo výjimečné postavení, protože zde byly soustředěny priority z pohledu politických zájmů před rokem 1989, a to vysoce strategické odvětví uranového průmyslu a vojenský výcvikový prostor (VVP) Ralsko, ve kterém byly „dočasně“ dislokovány jednotky Sovětské armády. Uvedená skutečnost tvoří základní důvod výše zmíněné nerovnoměrnosti v prozkoumanosti území.

Vlastní průzkumná činnost státního podniku DIAMO (dříve ČSÚP koncern) byla soustředěna na ložiskový průzkum uranových rud vrtným pracemi, a to především na bazální cenomanské vrstvy, ve kterých se nalézají uranové rudy. Negativní dopady měla snaha o maximální utajování všeho, co souviselo s uranem, která znemožňovala účast odborníků mimo resort na odpovědném posouzení širších aspektů výsledků geologickoprůzkumných prací a vyjádření těchto organizací ke koncepci rozvoje těžby uranu v oblasti strážského bloku.

OBJEVENÍ A PRŮZKUM LOŽISEK

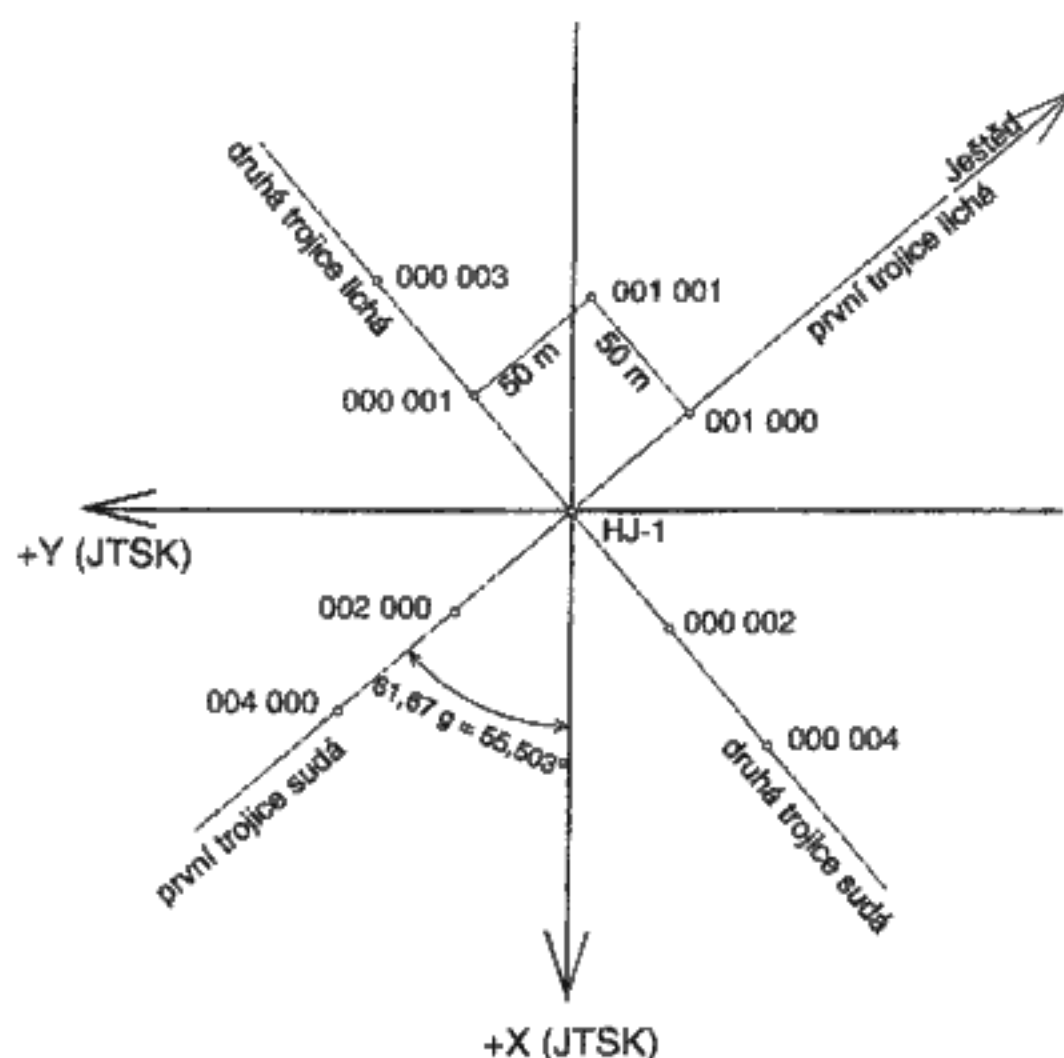
K objevení ložisek v oblasti Hamr-Stráž došlo v 60. letech. V roce 1963 bylo při leteckém geofyzikálním průzkumu zjištěno maximum magnetické anomálie. Do této oblasti byl pak situován strukturní vrt HJ-1 (Hamr na Jezeře-1), realizovaný Ústředním ústavu geologickým ve spolupráci s Geofyzikálním ústavem ČSAV. Umístěn byl na jih od obce Hamr. Po karotážním měření gama ve vrtu byla objevena anomálie související se zrudněním průmyslového významu. Po objevení anomálie ve vrtu HJ-1 byly v jeho okolí vrtány další ověřovací vrty, které všechny potvrdily uranové zrudnění.

Vrt HJ-1 byl vzat jako počátek průzkumné sítě vrtů s označením 000 000, od kterého se pak odvíjelo označování všech dalších geologickoprůzkumných vrtů v oblasti. Osu x tvořil tzv. „Ještědský profil“, což byla pomyslná spojnice nálezného vrtu 000 000 s vrcholem Ještědu. Vrt 000 000 leží nyní v oblasti ložiska Hamr.

Postupně byla objevena ložiska Hamr, Osečná-Kotel, Břevniště, Křižany, Holičky, Stráž, Mimoň a Hvězdov. Ložisko Stráž, kde je uran těžen metodou podzemního loužení, bylo nalezeno v roce 1967 opěrným vrtným profilem XXX 063.

Objevením ložisek v oblasti strážského bloku byl tehdejší ČSÚP postaven před řadu do té doby nikdy neřešených problémů, které vycházely ze specifík ložisek situovaných ve zvodněných křídových sedimentech s napjatou hladinou podzemní vody ve spodním cenomanském horizontu.

Šlo o to, že při aplikaci klasické hlubinné těžby budou



3. Vztah sítě geologickoprůzkumných vrtů k JTSK.

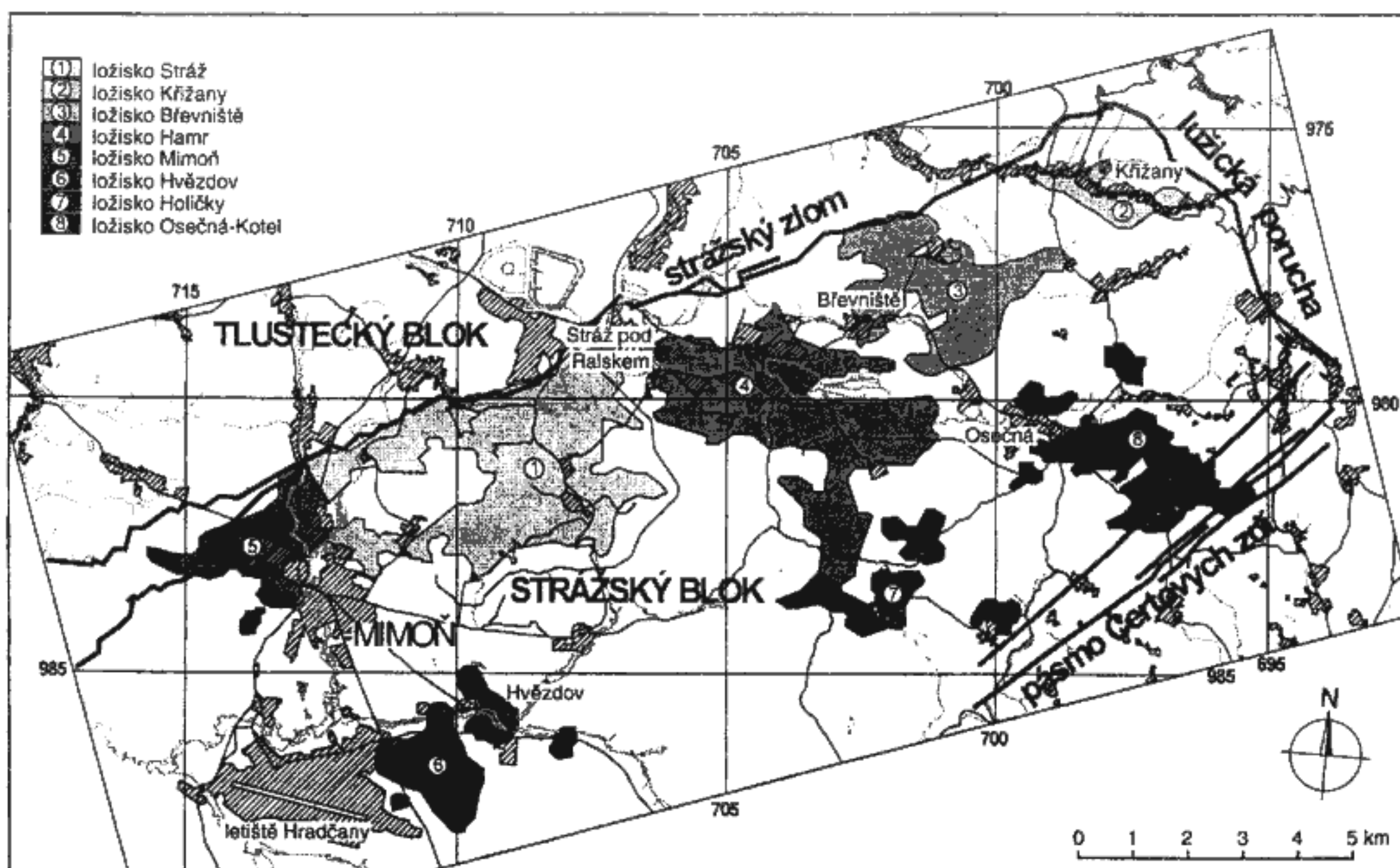
problémy s odčerpáváním množství radioaktivních cennomanských vod, jejich čištěním a odstraněním kontaminantů (převážně Ra) před vypouštěním do vodotečí. Dále bylo nutno zabezpečit nenarušení a neznečištění turonských zdrojů pitné vody v oblasti, odstranění vysokých objemů Rn v důlním ovzduší, vhodné umístění čistíren vod, úpravní rud, odkališť apod.

V té době se objevily zprávy, že v USA a v Sovětském

svazu započaly první pokusy s podzemním loužením pomocí vrtů z povrchu. Již počátkem roku 1965 byla založena skupina odborníků, která měla za úkol vytipovat hlavní problematiku těžby, předložit harmonogramy rozvoje činnosti a zpracovat studie na podzemní loužení.

K 1. března 1966 došlo k založení účelové organizace Uranové doly Hamr se sídlem v Hamru. Prvními úkoly této organizace bylo zpracování komplexních podkladů pro náběh a rozvoj těžby v severočeské oblasti se všemi dopady a návaznostmi, připravovat a zajišťovat investiční výstavbu a prakticky ověřit možnost použití podzemního loužení na ložisku jako těžební metody. V této době měla metoda podzemního loužení minimum zastánců. Vedly se totiž ostré spory o použití metody v praxi. Jako protiargumenty byly uváděny např. rozdílnost laboratorních a přírodních podmínek, silné ředění loužicích roztoků v podzemí, obtížné usměrňování roztoků od vtláčecího k těžebnímu vrtu v tlakovém režimu, kolmatace vrstvy, plynování, nemožnost dosažení průmyslově využitelné koncentrace uranu v roztoku apod. Z tohoto vyplynulo, že se práce z laboratoře musí přemístit k ověření v přírodním prostředí a zde aplikovat teoretické výpočty a laboratorní modelování.

Z úvah a laboratorních pokusů vyplývalo, že nejvhodnějším (dnes lze konstatovat, že neúčinnějším z hlediska požadované produkce) loužicím činidlem bude roztok kyseliny sírové. Tento roztok však vzhledem ke své agresivitě vyžadoval vystrojení vrtů, armatur, potrubí a zařízení kyselinovzdorným materiálem, a to v té době bylo ještě těžko řešitelné.



4. Přehled pozice ložisek ve strážském bloku.

ROZVOJ DOBÝVÁNÍ URANU V OBLASTI

Ve strážském bloku severočeské křídly byl dřívějším k. p. UD Hamr koncernu ČSUP (nyní DIAMO, státní podnik) dobýván uran dvěma zcela odlišnými těžebními metodami. Na ložiscích Břevniště a Hamr to byla, s výjimkou pokusných vyluhovacích polí VP-5 a VP-6, klasická hornická těžba s následnou úpravou těžené suroviny v CHÚ. Na ložisku Stráž a na výše zmíněných pokusných polích VP-5 a VP-6 ložiska Hamr byla a je používána metoda podzemního loužení in situ.

Každá z těchto dobývacích metod vyžaduje zcela jiné podmínky pro svoji existenci – hlubinná těžba dokonalé osušení ložiska a metoda podzemního loužení in situ prakticky nezměněné hydrogeologické poměry na ložisku s co nejvyšší hladinou pro vyšší efektivitu čerpání.

Rozsáhlé odvodňování cenomanského zvodněného kolektoru pro potřeby hlubinného dolu v severní části ložiska Hamr začalo v roce 1967. Souběžně byly zahájeny i první pokusy s podzemním loužením, a to jak na ložisku Stráž, tak i na ložisku Hamr.

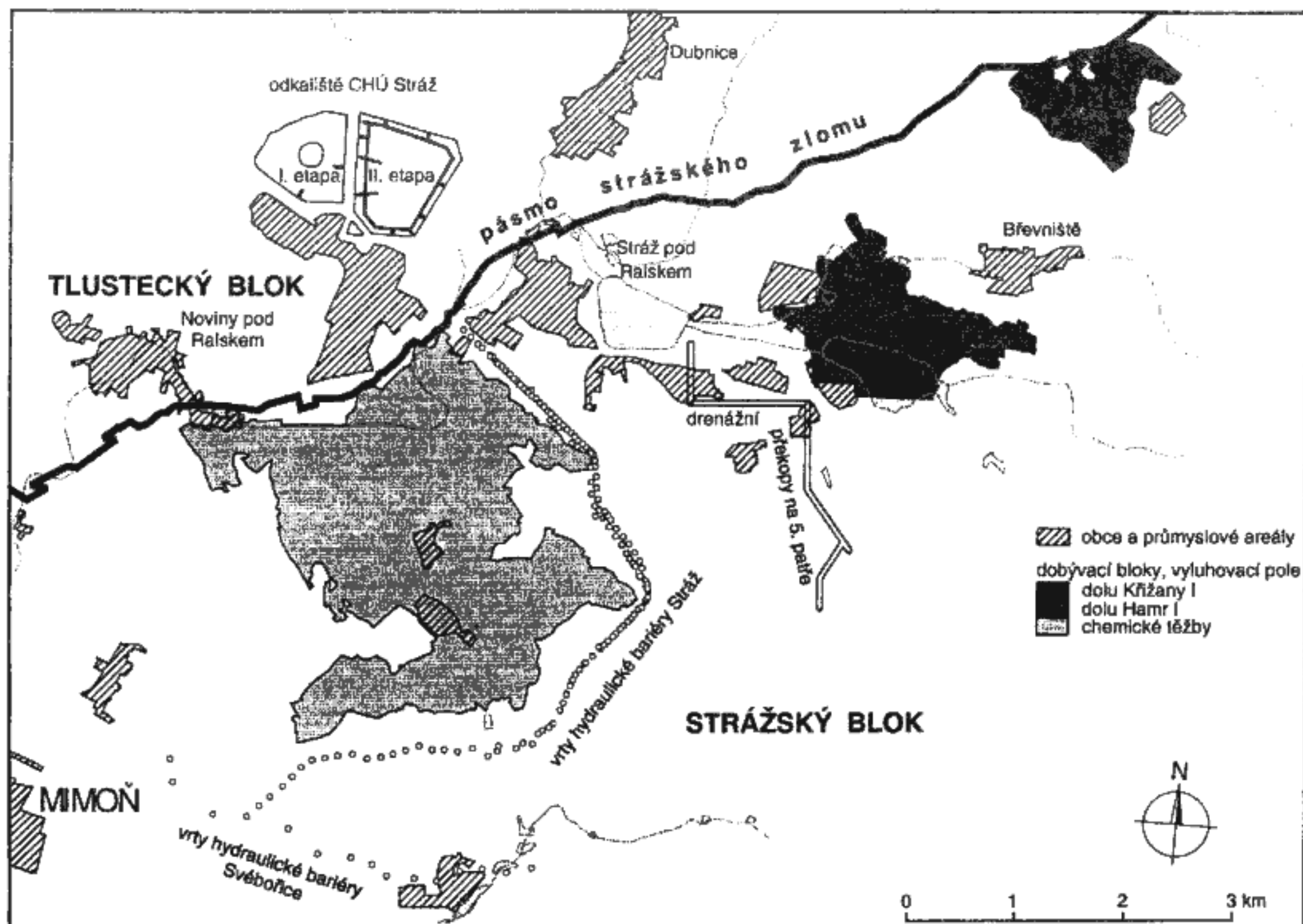
V průběhu 70. let se pokračovalo v nekonceptním a extenzivním rozvoji obou dobývacích metod. Přes směřování chemické těžby pouze na ložisko Stráž se již v polovině 70. let jednoznačně prokázalo, že existence dvou navzájem se negativně ovlivňujících těžebních

metod na relativně malém prostoru povede k neúměrnému a stále se zvyšujícímu zatěžování životního prostředí v oboru podzemních vod (úniky kyselých roztoků z vyluhovacích polí směrem k centru odvodnění – tj. k severovýchodně ležícímu Dolu Hamr I).

Místo změny těžební strategie se začala „ex post“ provádět nápravná opatření, která měla zajistit stabilizaci situace do vybudování hydraulické bariéry Stráž (umělého tlakového rozvodí v cenomanském kolektoru vytvořeného vtlačáním vody) mezi CHT a DH I. V důsledku omezené účinnosti provizorních zařízení (tzv. neutralizační bariéry, minibariéry, kontrabariéry, odlehčovacího čerpacího centra na CHT atp.) a opoždění výstavby a náběhu HB Stráž (začátek výstavby v r. 1977, ale optimální funkce až po r. 1985) však došlo k průniku kyselých vod z CHT do dolového pole DH I.

Koexistence obou metod byla poté, co narůstající problémy vyvolané odvodňováním plochy hlubinné těžby začaly ohrožovat jak hlubinnou těžbu, tak i průběh loužení, zajištěna s určitým zpožděním vybudováním hydraulické bariéry. I přes její nedokonalost bylo možno pokračovat současně v dobývání uranu oběma způsoby a do jisté míry byly i napraveny některé škody na životním prostředí, způsobené únikem ložiskových a produktivních roztoků za hranice vyluhovacích polí.

Nutnost ochrany dolového pole DH I před účinky ky-



5. Situační schéma jednotlivých těžebních objektů.

selých roztoků si v 1. polovině 80. let vyžádala vybudování nákladného systému předsunuté drenáže z podloží (drenážní systém 5. patra). Následné čerpání z tohoto drenážního systému muselo být doprovázeno výstavbou neutralizačních stanic pro likvidaci kyselých důlních vod (KDV). Omezená kapacita neutralizačních stanic a limitující podmínky pro vypouštění upravených KDV do vodotečí díky vysoké úrovni zbytkové solnosti vyvolaly nutnost vtláčení části KDV do antikorozně přestrojených vrtů HB Stráž.

Po zastavení dobývacích prací v hlubinných dolech je v současnosti provozována pouze metoda podzemního loužení in situ.

Na pozadí uvedeného rozvoje chemické těžby a Dolu Hamr I se odehrávaly další těžební aktivity, které však způsobily v oboru podzemních vod řádově nižší ovlivnění. Důl Křižany I na ložisku Břevniště, situovaný severovýchodně od DH I, byl uveden do těžby v 1. polovině 80. let. Na DH II, v jižní části ložiska Hamr, začala ražba jam začátkem 80. let. Těžební práce zde však nebyly nikdy zahájeny.

HISTORIE CHEMICKÉ TĚŽBY

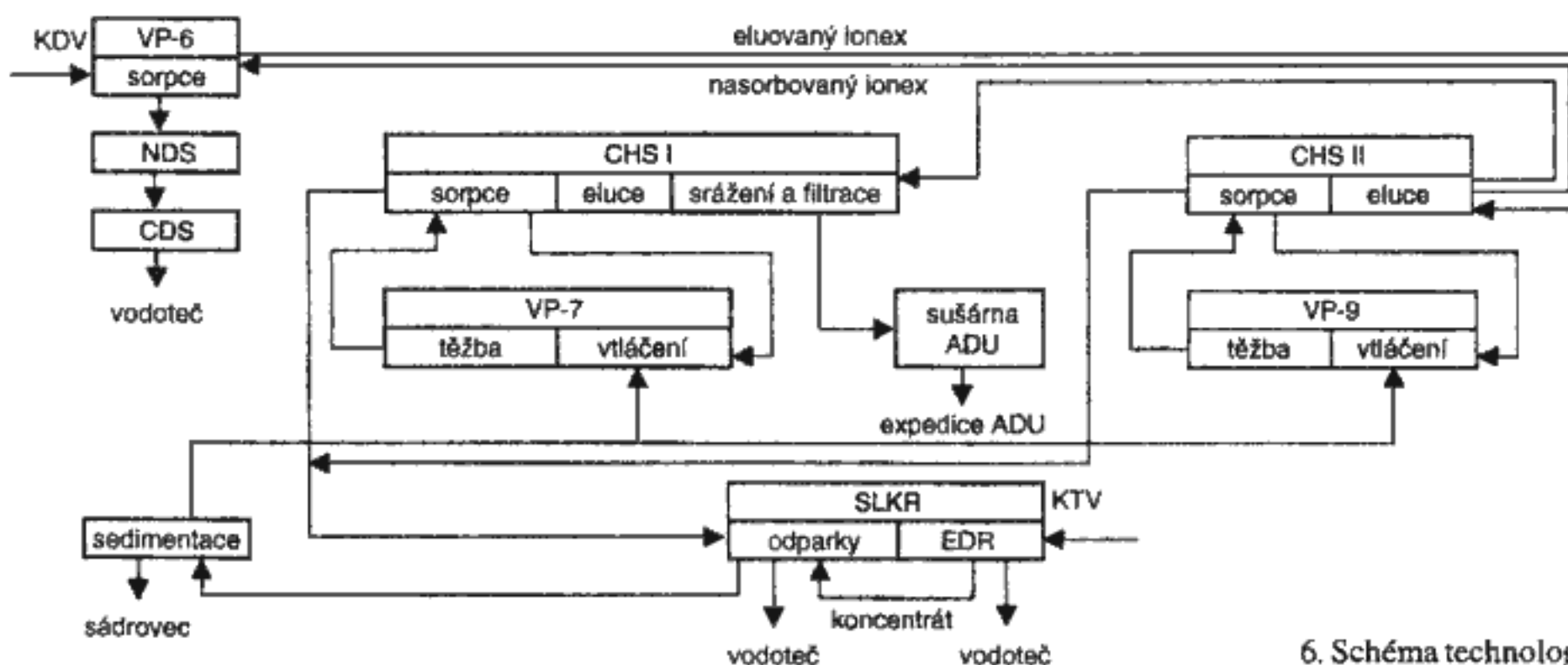
Chemická těžba uranu v oblasti Hamr-Stráž probíhá od roku 1967. Během této doby docházelo k mnoha změnám náhledů na tuto metodu. Největším mezníkem v rozvoji chemické těžby v oblasti bylo havarijní zatopení Dolu Hamr I na počátku roku 1973. DCHT pak v následujících letech částečně nahrazoval výpadek plánované produkce celého ČSÚP. To vedlo k velkému plošnému rozvoji polí a zvýšení produkce uranu. Zároveň však byly z časového hlediska podceněny veškeré výzkumné a ověřovací práce na zcela nové metodě a průzkumné práce v oblasti geologie. Tato skutečnost negativně ovlivňovala životní prostředí, zejména pak podzemní vody cenomanského kolektoru. V závislosti na tom došlo i k ohrožení vod turonské zvodně, které jsou v blízkém okolí zdrojem pitných vod vysoké kvality. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o sanaci a likvidaci chemické těžby.

Technologické schéma podzemního loužení uranu

Podzemní loužení uranových rud pomocí vrtů z povrchu tvoří uzavřený technologický proces. Roztoky cirkulují v uzavřeném oběhu mezi technologickým blokem v podzemí a chemickou stanicí na povrchu. V podzemí dochází k rozpouštění uranových minerálů a výluh, těžný pomocí soustavy těžebních vrtů, je soustřeďován v zásobních nádržích na technologických platech jednotlivých chemických stanic. Sorpční nátok je ze zásobníku čerpán do sorpčních kolon, kde prochází vrstvou ionexu (silně bazického anexu), kde se zachycuje uran ve formě komplexních aniontů. Roztok zbavený uranu – sorpční odpad – je sveden zpět na technologické plato, kde se provede úprava koncentrace nitrátových aniontů (sloužící jako oxidační látky). Takto upravený loužicí roztok se přečerpává na jednotlivá vyluhovací pole, kde se vtláčí do vtláčecích vrtů. Ionex nasycený uranem v sorpční koloně se před regenerací (elucí) promyje od zachycených kalů a nečistot. Pak se provede sycení odpadními roztoky, které obsahují zbytkové koncentrace nitrátových iontů. Následuje vlastní eluce elučním roztokem – zředěnou kyselinou dusičnou. Získaný eluát se neutralizuje ve dvou stupních kapalným a plynným amoniakem a sráží se diuranát amonný (ADU). Suspenze ADU se zahustí a poté filtruje na kalolisech. Při filtraci se suspenze promývá vodou, aby se odstranily nežádoucí příměsi. Pro dosažení požadované kvality koncentráту se suspenze sráží amoniakem. Následuje oddělení vzniklé suspenze nečistot od sraženého ADU. Zahuštěná suspenze se opětne zpracovává převedením do roztoku, zachycením uranu na ionexu a další elucí. Čistý koncentrát, který byl opakovaně promyt a zfiltrován, se převádí do suspenze, která se odváží na sušárnu Chemické úpravy Stráž pod Ralskem, kde se usuší a zabalí k expedici.

Obsah uranu se v suchém koncentráту pohybuje v současné době okolo 74 %.

Vstupem do technologického procesu jsou chemické látky a voda ze zvodněného kolektoru. Z nich se připra-



6. Schéma technologie chemické těžby.

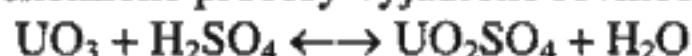
vují veškeré roztoky potřebné pro loužení a povrchovou technologii:

- loužící roztok – $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3$
- eluční (regenerační) roztok – $\text{H}_2\text{O} + \text{HNO}_3 + \text{NH}_3$
- roztok pro čištění vrtů – $\text{H}_2\text{O} + \text{HF}$.

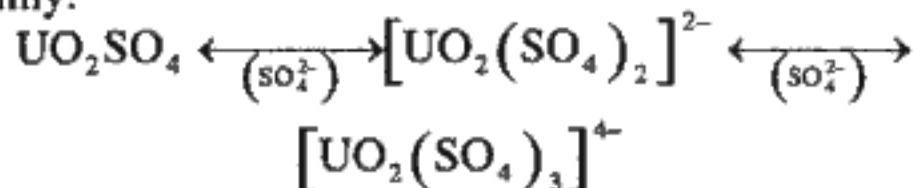
Výstupem povrchové technologie zpracování kyselých roztoků jsou:

- uranový koncentrát ADU (diuranát amonný),
- pevný odpad (množství kalů v objemu cca 0,002 % z celkového objemu výluhu)

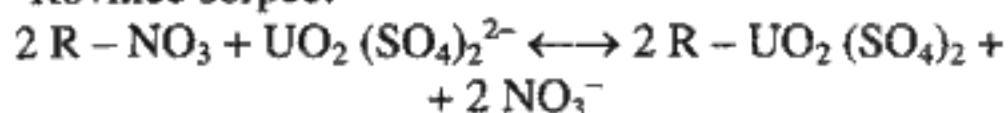
Při kyselém loužení kyselinou sírovou probíhají tyto základní chemické procesy vyjádřené rovnicemi:



Současně vznikají i komplexní uranylsulfátové sloučeniny:

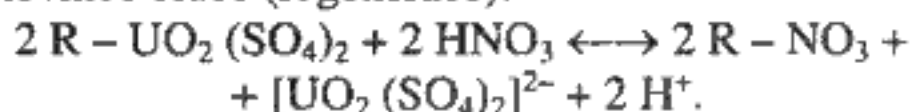


Rovnice sorpce:



(iontoměníč v NO_3^- cyklu) (iontoměníč v $\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2^{2-}$).

Rovnice eluce (regenerace):



Vyluhovací pokusy

První vyluhovací pokus VP-1 se odehrál v tzv. alkalickém režimu. Byla použita soda, i když bylo údajně předem známo, že většího loužícího efektu tak nebude dosaženo. K pokusu bylo využito již dříve navrtaného hydrogeologického kříže VZ-1 (Vodní zdroje-1). Tento je situován poblíž nynější křižovatky Nová Lužice-Stará Lužice pod zříceninou hradu Děvín nedaleko vrtu HJ-1 (000 000). Zařízení se skládalo ze dvou ocelových kádí 5 m³, tří ventilů, dvou průtokoměrů, asi 100 pytlů sody, klacku na míchání sody a kompresoru na liftovou těžbu. Pokus VP-1 probíhal několik měsíců v létě roku 1966 a splnil účel v tom, že potvrdil správnost teoretických výpočtů o proudění roztoku mezi vtláčecími a těžebními vrtvy. Roztok však nebyl dostatečně obohacen uranem pro průmyslové využití. Tím skončily jakékoli další pokusy v oblasti alkalického loužení a přednost dostalo loužení s použitím kyseliny sírové. Alkalickému loužení nebyla zdaleka věnována taková pozornost, jakou by si zasloužilo. To, že bylo rozhodnuto o použití kyseliny sírové, zcela jistě souviselo s orientací celého našeho hospodářství směrem na Sovětský svaz, kde se tato metoda s použitím kyseliny sírové v této době již používala v praxi.

Pro ověření bylo třeba odzkoušet variantu loužení roztokem kyseliny sírové. To se mělo realizovat jako VP-2. Tento vyluhovací pokus byl situován v katastru obce Hamr směrem k jámě Hamr-1 Sever, na sever od silnice Hamr-Břevniště. Bylo naplánováno asi deset vtláče-

cích vrtů v uzavřených polygonech a dva čerpací vrtvy uprostřed. Místo bylo zvoleno pro předpokládanou dobrou propustnost, a tedy i předpokládanou dobrou loužitelnost rud. Největším problémem bylo vystrojení technologie kyselinovzdorným materiálem. Účelová organizace tenkrát ještě neměla ani dílny, ani dostatek kvalifikovaných dělníků, ale přesto se podařilo vyrobit novodurovou pažnicovou kolonu a úspěšně zapažit vrtvy. Provoz pokusu měl probíhat asi jeden rok a nepočítalo se s ovlivněním již tehdy probíhajícího hloubení jámy Hamr-1 Sever. Nevhodnost umístění pokusu s nebezpečím úniku kyselých roztoků směrem do depresního kužele hloubené jámy se však ukázala záhy a z tohoto důvodu byly odvrtny a vystrojeny pouze dva vrtvy a pokus byl zastaven.

Na doporučení sovětského experta bylo rozhodnuto přemístit první kyselinový vyluhovací pokus podstatně dále od hlubinného dolu, a to již pod názvem VP-3 na ložisko Stráž. K vyluhovacímu pokusu bylo vybráno východní úpatí vrchu Ralsko. Ložisko Stráž bylo v té době zvládnuto průzkumem v síti 800 x 800 m s lokálními zahuštěními na 400 x 400 m. Pokus byl umístěn u tehdy nejbohatšího vrtu 176 095. Síť byla navržena ve tvaru spojených šestiúhelníků o straně 16 m s vrtvy ve vrcholech a v centru. Celkem šlo o 12 vrtů. Technologie pažení vrtů novodurem byla ověřena již na VP-2 a byla pouze vylepšena. Některé z vrtů jsou dodnes provozuschopné. Prakticky v „lese“ vedle pokusu byl umístěn zpracovatelský úsek pod stanovou plachtou. V prvním týdnu září 1967 byl analyzován první vzorek výluhu. Z tohoto pokusu byla dne 13. prosince 1967 dodána první cisterna koncentráту do úpravny MAPE v Mydlovarech k dalšímu zpracování.

Na základě výsledků bylo rozhodnuto celý experiment provést v poloprovozním měřítku a započalo vrtání VP-4 v sousedství VP-3. Do VP-4 byla plocha VP-3 začleněna od léta 1969. Tento vyluhovací pokus měl již charakter vyluhovacího pole. Původních několik polygonů bylo po etapách rozšířeno na současnou plochu a řídkou čtvercovou sítí ještě zahuštěno. V roce 1969 byla zahájena těžba na ložisku Stráž podzemním loužením na 198 vrtech. Zde byla také poprvé vyzkoušena dnes již běžná metoda prohlížení vrtů televizní kamerou s gyrokompasem a s možností zhotovení orientované fotografie. Tyto práce prováděla Geofyzika Brno. Na tomto poli bylo rovněž odvrtno několik kontrolních vrtů na ověření množství vytěženého kovu a postupu procesu loužení v hornině. Na čištění vrtů zde byla poprvé úspěšně použita kyselina fluorovodíková. Pokus VP-4 byl, alespoň v první etapě, vrtán s velkým ohledem na zachování původního neporušeného terénu. Terénní úpravy byly prováděny až v posledních etapách přípravy pole. Zároveň s přípravou pole se hledal i vhodný nový materiál na pažení vrtů, který by nahradil používaný novodur. Ten byl totiž, zvláště v zimě, křehký a nejmeně spolehlivou částí pažnicové kolony byly její slepy. Proto bylo vyzkoušeno použití polyetylenových trubek vyrobených v Plastice Nitra. Vůbec první vrt,

který byl PE trubkami propažen, byl vrt ve východní části ložiska Hamr, úsek Lužice, západně od Podvrší. Po úspěšném odzkoušení byl PE používán na pažení téměř všech provozních vrtů.

Vyluhovací pokus VP-5 je také někdy nazýván jako „Lužice“. Byl situován do údolí mezi Širokým kamenem a vrcholem Děvín v průběhu roku 1969. Tato lokalita byla zvolena k ověření loužitelnosti rud horizontu A (tj. sladkovodního cenomanu). Tento pokus byl poměrně malý a jako chemická stanice zde posloužilo přestěhované zařízení z VP-3, který již byl začleněn do VP-4. Bylo zde rovněž odzkoušeno podzemní uložení povrchových technologických rozvodů, které má velkou výhodu v tom, že se omezí zamrzání, ale pro obtížnost kontroly a zjištění případných poruch na potrubí se od tohoto systému dále upustilo. Byl zde rovněž učiněn pokus s tzv. „dlouhodobým naložením“ pole do koncentrovanějších roztoků s obsahem kyseliny sírové až $300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ na dobu asi půl roku.

Poslední vyluhovací pokus VP-6 byl také největším a měl dát odpověď na problémy v normálním provozním měřítku. Jeho plocha byla téměř třikrát větší než VP-4. Byl umístěn jižně od obce Hamr, pod svahy Kozích hřbetů do západní části ložiska Hamr, úsek Kasárna. Použita byla čtvercová síť o straně 25 m s různým způsobem zapojení vrtů. Tento pokus byl odvrtný v letech 1969 až 1970 s dodatečným přivrtáním 36 vrtů. Celkem bylo na tomto pokusu navrtáno téměř 500 vrtů. V průběhu vrtných prací byly také odebírány vzorky jádra pro laboratorní ověření možného použití loužení uranu pomocí bakterií *Thiobacillus thiooxidans*. Laboratorní pokusy však proběhly neúspěšně, údajně vzhledem k nízkému obsahu FeS_2 v hornině.

Během provozu VP-6 se ukázalo, že dochází k velké-

mu úniku loužicích roztoků do depresního kužele DH I – Sever a vzniklo nebezpečí ohrožení důlních děl těmito roztoky. Na eliminaci těchto negativních vlivů byla vybudována „minibariéra“, dále pak neutralizační bariéra na břehu Hamerského jezera a v jižním pokračování minibariéry byly v závěru existence VP-6 odvrtny dvě linie těžebních vrtů, které odstraňovaly kyselé roztoky uniklé z jižní části VP. Po dokončení těžby ze štěhlých vrtů bylo ještě odvrtno několik širokoprofilových vrtů, které dotěžovaly zbytkové roztoky z prostoru vlastního vyluhovacího pole.

Vyluhovací pole

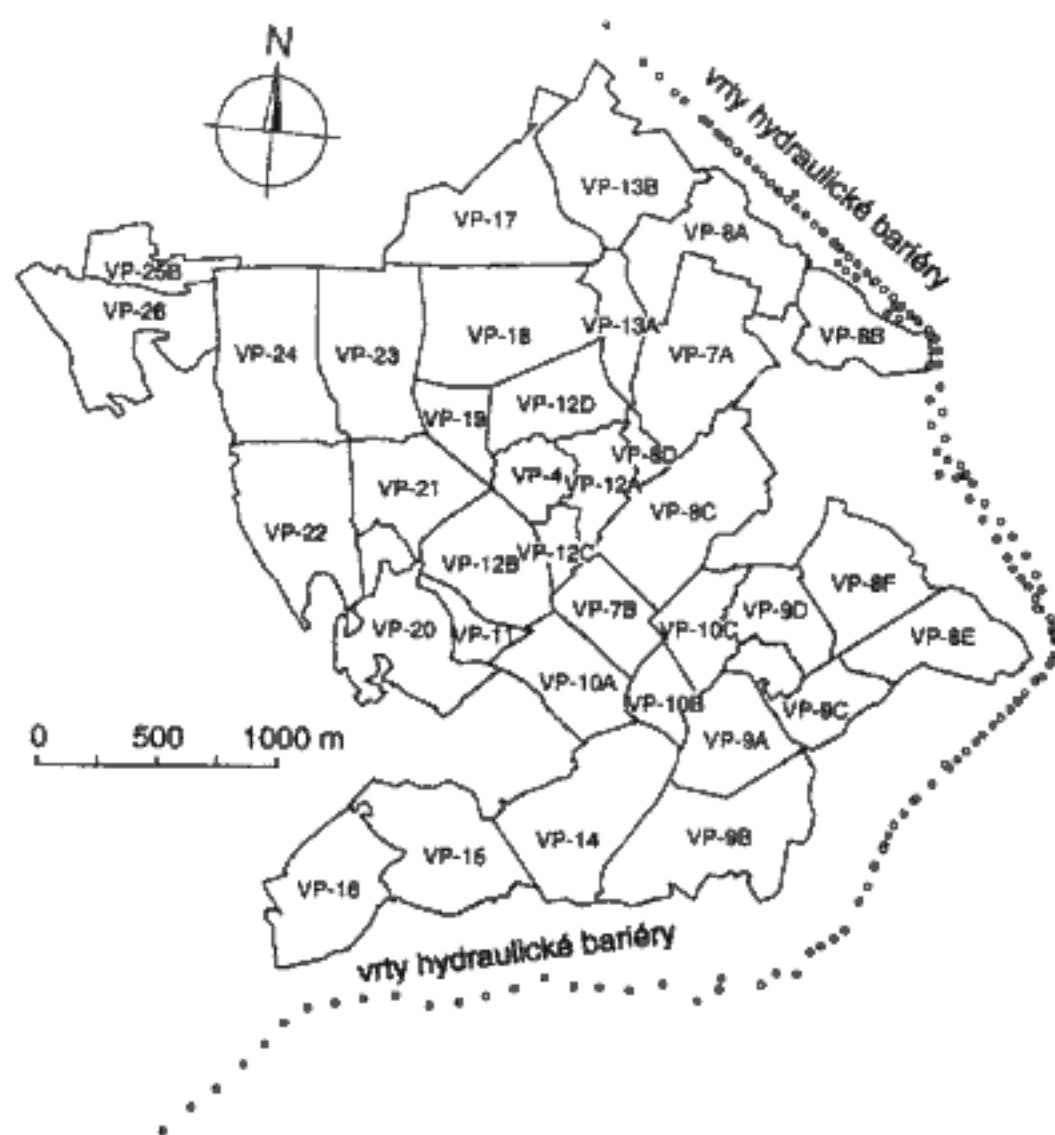
Od roku 1971 došlo po rozhodnutí vlády o průmyslové exploataci ložiska k zahájení investiční výstavby nových vyluhovacích polí. Průzkumné vyhledávací práce pokračovaly vrtáním pravoúhlých sítí až do hustoty $200 \times 100 \text{ m}$. Touto sítí bylo pokryto celé ložisko Stráž s výjimkou vlastního vrchu Ralsko. Z vrtání průzkumných sítí byl poměrně nízký výnos vrtného jádra, proto u starších výpočtů zásob do roku 1975 chybí jakostní technologické ocenění suroviny. Z toho důvodu bylo přistoupeno k vrtání jádrových vrtů v rámci těžební sítě nových vyluhovacích polí, počínaje polem VP-9A. Téměř celá plocha ložiska je v současné době pokryta výpočty zásob v kategoriích vyhledané a prozkoumané (C_2 a C_1). Vyluhovací pole VP-4 až VP-26 mají vypočteny a schváleny zásoby v kategorii prozkoumané (C_1).

Strukturně-geologický průzkum byl prováděn teprve od roku 1974, zprvu orientačně a na nových polích, počínaje VP-9A již systematicky s pomocí povrchových geofyzikálních prací, povrchových kutacích prací a spolu s geologickým mapováním v měřítkách 1 : 2000 a 1 : 1000.

Na základě prvních, rychle získaných výsledků použité technologie procesu podzemního loužení a zjištění některých nesporných výhod oproti klasické hornické těžbě byly překonány skeptické názory a došlo k velmi rychlému až překotnému rozvoji chemické těžby. Státní výzkumný úkol P-09-125-012-03 „Ověření technologie a techniky podzemního vyluhování uranových ložisek v severočeské křídě“, se řešil v letech 1971–1980. Ukončen byl závěrečnou zprávou a oponenturou až v roce 1980. Přesto se již v roce 1971 započalo s odvrtem prvního těžebního pole VP-7B a téměř plynule, každý rok, se loužená plocha na ložisku Stráž zvětšovala.

Chemická těžba začínala hrát stále významnější úlohu v plnění plánu základní produkce celého ČSÚP. Rychlé tempo rozvoje chemické těžby umožnilo resortu vyrovnat úbytky těžby uranu postupným vyčerpáváním zásob v tradičních těžebních revírech. Navíc, po havárii DH I (roky 1973–1974), nahrazovala CHT podstatnou část výpadku základní produkce uranu.

Ke konci roku 1975 bylo v provozu 12 těžebních polí (VP-4, VP-5, VP-6, VP-7A, VP-7B, VP-8A, VP-8B, VP-8C+D, VP-8E, VP-8F, VP-9C a VP-9D) o celkové



7. Přehled pozice jednotlivých vyluhovacích polí v rámci chemické těžby.

ploše 234,4 ha s 3465 technologickými vrty. Vrtná síť na VP-4 a VP-5 byla odvrtna ve tvaru šestiúhelníků s jedním vrtem uprostřed. Po obvodu šestiúhelníku bylo dvanáct vrtů zapojeno ve vtláčecím režimu, prostřední vrt byl těžební. Na zbývajících polích byly vrty odvrtny v pravidelné čtvercové síti s poměrem vtláčecích a těžebních vrtů 1 : 1 střídajících se šachovnicovým způsobem. Vrty byly vrtány průměrem 150 mm a vystrojeny pažnicemi o vnějším průměru 110 mm, zapažnicový prostor je s výjimkou zájmového intervalu vyplněn cementovou směsí. Materiál pažnic je PE, ojediněle byl použit PP. Zájmový interval je otevřen převážně na patu, tzn. že pažnice jsou ukončeny nad rudní polohou, a zbývajcí část vrtu je nezapažena. Výjimečně jsou v rudním intervalu použity perforované pažnice. Pouze na VP-4 je poměr vrtů s perforacemi k vrtům otevřených patou zhruba 1 : 1. Na všech polích je otevřený zájmový interval v rudní poloze „B“ (rozmyv), pouze na VP-5 na ložisku Hamr je otevřena rudní poloha „A“ (sladkovodní cenoman).

Na konci roku 1980 bylo v provozu již 20 těžebních polí (přibylo VP-9A, 9B, 10A, 10B, 10C, 12A, 12C a 12D) o celkové ploše 353,7 ha s 5551 technologickými vrty. Vrtná síť na VP-12C je nepravidelná z důvodu zástavby. Pole je situováno do prostoru areálu CHS-I. Na VP-12D tvoří vrtnou síť kosodélníky o rozměru 50 krát 20 m, zbývajcí pole mají ještě čtvercovou síť vrtů. Vystrojení vrtů je stejné jako v předcházejícím období s výjimkou polí VP-12A, 12C a 12D, kde je již uplatněno tzv. dvojí pažení s ochrannou Fe pažnicí přes polohu kvádrových pískovců; prostor mezi pažnicemi je rovněž zacementován. Na VP-12A jsou však již u většiny vrtů používány v zájmovém intervalu perforované pažnice. Hlavní rudní polohou na všech těchto polích je poloha „B“.

Na konci roku 1985 měl DCHT 27 těžebních polí (přírůstek VP-11, 12B, 13A, 13B, 14, 15 a 16) o celkové ploše 501,1 ha s 6636 technologickými vrty, z toho však na VP-5 a VP-6 (ložisko Hamr – 635 vrtů) již byla těžební činnost ukončena. Vrtná síť na VP-12B, 13A, 13B a 14 je obdélníková o rozměrech 50 x 20 m, na VP-15 je šestiúhelníková o průměru 90–100 m a vzdáleností vrtů na obvodě 24 m. Na VP-16 jsou již uplatňovány linie vrtů. Vzdálenosti linií se v důsledku značné členitosti terénu pohybují od 50 do 150 m. Na poli VP-11 má vrtná síť tvar nepravidelných obdélníků o rozměru 40 x 20 m. Na všech těchto nových polích je již použita konstrukce s ochrannou Fe pažnicí. Vrty na polích VP-11, 12B, 13A, 13B a většiny VP-14 jsou otevřeny patou. Vtláčecí vrty na VP-15 a 16 jsou rovněž otevřeny patou a menší část perforacemi. Na VP-15 a 16 jsou již těžební vrty širokoprofilové a výluh je těžen pomocí antikorozních odstředivých čerpadel zn. Grundfos. Vrtány byly průměrem 550 mm, vystrojeny jsou dvojím pažením. Vnitřní pažnice jsou AKV o průměru 219 mm, vnější pažnice jsou Fe o průměru 324 mm. Zájmový interval je zapažen perforovanými AKV pažnicemi o průměru 324 mm.

Ke konci roku 1990 měla chemická těžba 34 těžebních polí (přírůstek VP-17, 18, 19, 20, 21, 23, 24) o celkové ploše 676,1 ha se 7482 technologickými vrty. Z toho však na VP-6 (559 vrtů) byla těžební činnost ukončena a na VP-5 (76 vrtů) a VP-8B (178 vrtů) byla ukončena plošná likvidace. Vrtná síť na VP-17, 18, 19, 23 a 24 je liniová o vzdálenosti mezi liniemi 100–140 m. Vzdálenost mezi jednotlivými vtláčecími vrty na linii je 11 m, mezi těžebními širokoprofilovými vrty 75–120 m. Vrtnou sítí na VP-20 a 21 jsou nepravidelné polygony, přičemž vzdálenost mezi vtláčecími vrty činí 15–30 m a mezi vrty těžebními 120–200 m. Konstrukce vtláčecích vrtů je s dvojím pažením s vnější ochrannou Fe kolonou. Těžební vrty jsou širokoprofilové, výše popsané konstrukce. Otevření zájmového intervalu je u většiny vrtů perforacemi.

V roce 1992 bylo uvedeno do provozu pole VP-22 o ploše 29,2 ha s 68 technologickými vrty v síti nepravidelných polygonů. V roce 1993 bylo uvedeno do provozu poslední pole VP-26 o ploše 27,7 ha s 58 technologickými vrty a liniovou vrtnou sítí. Konstrukce vrtů odpovídá předcházejícím polím. Úměrně růstu plošného rozsahu se budovaly i zpracovatelské kapacity. Nejprve to byla CHS-VP 6 na úseku VP-6, později CHS-I na VP-7 a CHS-II na VP-9.

Celková loužená plocha dnešního dne dosahuje cca 6,5 km². Z toho však již na VP-5 a VP-8B byla ukončena plošná likvidace a rekultivace povrchu. V roce 1994 byla zahájena plošná likvidace pole VP-6 na ložisku Hamr, která je v současné době ve stadiu rozpracování.

Problematika metody podzemního loužení in situ v zrcadle času

Při provozu chemické těžby bylo mezi roky 1967 a 1996 použito v procesu následující množství chemikálií:

- 4100 kt H₂SO₄,
- 312 kt HNO₃,
- 112 kt NH₃ a
- 23 kt HF,

čímž bylo ovlivněno více než 180 · 10⁶ m³ podzemních vod cenomanské zvodně nacházejících se na ploše 24 km².

Neobyčejně rychlý rozvoj měl za následek **opožděné řešení celé problematiky technologie těžby** metodou podzemního vyluhování. Toto je možno rozdělit **do několika samostatných okruhů**:

a) **Geologickoprůzkumné práce** – složitost, členitost a různorodost prostředí, podmínek a faktorů, které ovlivňují podzemní procesy, včetně vlivů tektoniky, hydrodynamiky a kinetiky loužení, střídání dobře a špatně propustných hornin, měnící se mineralogické složení, koncentrace U a výpočet zásob.

b) **Konstrukce vrtů** – zajištění dobrých filtračních vlastností v zájmovém intervalu, bezpečné oddělení zapažnicového prostoru mezi turonským a cenomanským souvrstvím, vhodnost materiálu pro pažení vrtů

v agresivním prostředí, rozdílnost konstrukce těžebního a vtláčecího vrtu, zapažnicová cementace, dvojí pažení v turonském horizontu a způsob likvidace vrtu po ukončení jeho činnosti.

c) **Optimalizace vrtných sítí** – stanovení optimálního prostorového rozmístění soustavy vtláčecích a těžebních vrtů, tvar vrtné sítě, vzájemná vzdálenost vrtů s ohledem na zásoby U, propustnost v zájmovém intervalu, loužitelnost, tektoniku, morfologii povrchu a v neposlední řadě i požadavky ekonomiky produkce.

d) **Chemickotechnologická problematika** – vytěžitelnost kovu ze zásob, stanovení optimálního složení loužícího roztoku a koncentrací, přibližné stanovení doby vytěžení zásob, stanovení procesu sorpce a úpravy koncentráту a recirkulace loužícího roztoku atd.

e) **Systém čerpání roztoků** – čerpání roztoku z těžebních vrtů pomocí stlačeného vzduchu na principu airliftu, od VP-15 čerpání ponornými AKV čerpadly zapuštěnými do vrtů větších průměrů, pokusy s jinými úspornými způsoby čerpání (naftařský „kozlík“).

f) **Koexistence obou způsobů dobývání** – činnost hydraulické bariéry a její dotování potřebným množstvím vtláčeného média, způsob sledování činnosti a údržba zařízení.

g) **Celkový dopad těžby na životní prostředí.**

Řešení větší části těchto okruhů se v průběhu doby, vlivem nových poznatků a zkušeností, výsledků RVT a tlaku ekonomických nástrojů, vyvíjelo a zejména v počátečních letech, až do roku 1980, opožděvalo za výstavbou těžebních polí, a to zejména proto, že dlouhodobé laboratorní testy probíhaly paralelně s činností na jednotlivých VP. Důsledkem toho jsou změny v konstrukci vrtů až od VP-11, změny vrtné sítě a způsobu těžby ponornými čerpadly až od VP-15. Způsob otevření zájmového intervalu ve vrtu, zda perforací nebo patou, je dán měnícími se zkušenostmi a ekonomickými tlaky v jednotlivých obdobích výstavby polí a vrtání případných dovrťávek nebo zahušťování vrtné sítě.

Opožděná realizace hydraulických bariér Stráž a Svěbořice za výstavbou vyluhovacích polí – a tudíž její omezená funkčnost – zavinila v počáteční době úniky kyselých roztoků mimo kontury polí směrem k DH I a na J.

Snaha o co nejnižší dopad vlivu těžby na povrch a životní prostředí při tak velkém, plošně rozsáhlém záboru lesního a zemědělského půdního fondu byla důsledněji aplikována až v poslední době. Zemědělský půdní fond je částečně využíván na VP-14, 17, 18, 19, 23 a 24.

Závěrem lze konstatovat, že extenzivní rozvoj chemické těžby daný požadavky co nejvyšší produkce v co nejkratší době a politickou situací, poškodil vlastní metodu a negativně ovlivnil jak její ekonomické výsledky, tak i dopad na životní prostředí.

HISTORIE HLUBINNÉ TĚŽBY

Historie hlubinné těžby v oblasti se začala psát v druhé polovině 60. let. Jako první byla hloubena průzkumná

jáma Lužice v jižní části ložiska Hamr, která však byla pro nezvládnutí přítoků při hloubení v turonském kolektoru zastavena a nedokončena. Ražba neprošla spodnoturonským poloizolátorem. Poté bylo rozhodnuto situovat další jámy do severní části ložiska Hamr. Zde začalo hloubení jam č. 1, 2, 3 a 13 Dolu Hamr. Tyto jámy prošly úspěšně přes turonský zvodněný horizont, přes spodnoturonský poloizolátor a cenomanský horizont až do podložních hornin. V polovině 70. let byla zahájena další ražba jam na ložisku Břevniště, severovýchodně od Dolu Hamr. Byly zde vyhloubeny jámy č. 4 a 5 Dolu Křižany. Zároveň se začaly hloubit dvě jámy opět v jižní části ložiska Hamr – část Lužice. Jedna z nich byla i přes velké problémy s odvodněním vyhloubena až do podložních hornin. V rámci útlumu těžby uranu na konci 80. let byly další razicí práce v oblast Lužice zastaveny a jámy uzavřeny.

Důl Hamr

Prvním důlním dílem, které otvíralo ložisko Hamr byla jáma č. 1. Další jámy č. 2 a 3 byly při hloubení odvodňovány stejným způsobem, tj. bez clonových vrtů s odčerpáváním přítoků pouze z ražby. Při hloubení jámy č. 13 byly použity clonové vrtu v okolí jámy při průchodu turonským horizontem s odvodňováním z již existujících chodeb při průchodu cenomanským horizontem.

Vlastní otvírka dolu byla zahájena důlními díly na experimentálním dobývacím bloku Sever. Při jeho odvodňování byla použita kombinace clonových vrtů z povrchu a dovrchních drenážních vrtů z podložních důlních děl. Každý dobývací blok byl nejprve v podloží ohraničen podložními překopy a odvodňován pomocí dovrchních drenážních vrtů. Vývoj objemu čerpaných vod na Dole Hamr je uveden v tabulce 2.

V průběhu těžby došlo i k několika problémům s průvaly důlních vod v souvislosti s nafáráním tektonických poruch s vysokým přítokem vod a výnosem písku a jílu. Jedním z největších byla tzv. „tektonická linie Anežka“.

V lednu 1973 byla na konturační chodbě H-1102 zachycena tektonická porucha se zvýšeným přítokem vody a výnosem písčitého materiálu. Než přítokem vznikla větší kaverna, byl přítok změřen na úrovni 28 l . s⁻¹. Po-

Tabulka 2. Vývoj čerpání důlních vod na Dole Hamr

rok	objem (l . s ⁻¹)	rok	objem (l . s ⁻¹)	rok	objem (l . s ⁻¹)	rok	objem (l . s ⁻¹)
1967	38	1975	348	1983	473	1991	556
1968	119	1976	371	1984	449	1992	508
1969	142	1977	393	1985	447	1993	485
1970	186	1978	374	1986	530	1994	470
1971	232	1979	414	1987	517	1995	469
1972	259	1980	597	1988	574	1996	431
1973	225	1981	535	1989	582	1997	376
1974	358	1982	470	1990	562	1998	387

stupem času začala vznikat kaverna se silným výnosem písku. Výtok se postupně zvyšoval na 120–150 l . s⁻¹. Začal i výnos brekciovitého materiálu a hornin podložního krystalinika. Uvedené objemy vod se stávaly nezváždnutelnými, takže bylo rozhodnuto o řízeném zatopení dolu. Struktura byla poté tamponována s pomocí vrtů. V říjnu 1973 byla pak chodba včetně přilehlé části struktury utěsněna. Čerpání bylo obnoveno v listopadu 1973.

Důl Hamr poté těžil uranovou rudu do roku 1993, kdy bylo rozhodnuto o suché konzervaci a poté v roce 1995 o likvidaci dolu. V současné době probíhají na dole zakládací a likvidační práce v podzemí a předpokládá se začátek zatápění dolu v polovině roku 2001.

Důl Křižany

Důl Křižany byl situován cca 2 km na SV od Dolu Hamr. Ražba jam začala na konci 70. let. Vzhledem k pozici dolu u strážského zlomu a na elevaci hornin podloží není v horizontu výrazně vyvinut středoturonský kolektor a tím pádem nebyly při ražbě jam větší problémy s odvodňováním.

První ruda byla vytěžena v roce 1983. Důl byl projektován na poměrně nižší kapacitu a v menší ploše než Důl Hamr a s tím souvisely i menší problémy z hlediska hydrogeologického.

Struktura „Anežka“ byla také na tomto dole nafárána, ale nezpůsobila vůbec žádné hydrogeologické problémy při ražbě.

Těžba na dole byla v rámci usnesení vlády ČSSR zastavena v roce 1990 a důl byl uzavřen a zatopen. Do roku 1994 zde probíhalo ještě čerpání cca 30 l . s⁻¹ cenomanských vod z vrtu pro technologické účely a pomocné odvodnění sv. části Dolu Hamr.

HYDRAULICKÉ BARIÉRY

Z důvodů zamezení úniku technologických roztoků z oblasti Dolu chemické těžby do dolových polí ložiska Hamr (DH I a DH II) byl v letech 1977–1988 vystavěn systém hydraulických bariér.

Systém hydraulických bariér (HB) představuje pět funkčně spjatých úseků:

- HB Stráž – část „Sever“
- HB Stráž – část „Střed“
- HB Stráž – část „Jih“
- HB Stráž – část „Jihozápad a Pavlín“
- HB Svěbořice.

HB Svěbořice zamezuje rozptylu kyselých zasolených roztoků jižním směrem. Zároveň usměrňuje proudění uniklých kyselých roztoků směrem na východ za HB Stráž do depresního kužele Dolu Hamr.

HB Stráž Sever je tvořena 31 vtláčecími vrty, z nichž 6 je již nefunkčních.

HB Stráž Střed je tvořena 25 vtláčecími vrty, z nichž 6 je již nefunkčních.

HB Stráž Jih je tvořena 29 vtláčecími vrty, z nichž 6 je již nefunkčních.

HB Stráž Jihozápad a Pavlín je tvořena 26 vtláčecími vrty, z nichž je 1 nefunkční.

HB Svěbořice je tvořena 11 vtláčecími vrty, z nichž 1 je nefunkční. Do těchto vrtů se vtláčí podzemní voda čerpaná z turonské zvodně.

HYDROGEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA DOBÝVANÝCH LOŽISEK

Ložisko Stráž (chemická těžba) se nachází ve střední části strážského bloku. Jde o plochu vyluhovacích polí o celkové rozloze cca 650 ha (6,5 km²). Ložisko Hamr (hlubinná těžba) se nachází na SV od ložiska Stráž. Jde o plochu dolového pole DH I o rozloze cca 250 ha (2,5 km²). Plocha depresního kužele má však dosah až k lužickému zlomu. Na ložiscích jsou vyvinuty, obdobně jako v celém zájmovém území, dva základní hydrogeologické zvodněné kolektory – cenomanský a turonský.

Cenomanský zvodněný kolektor

Cenomanský kolektor je tvořen souvrstvím mořského cenomanu se dvěma výrazně odlišnými vrstvami – rozpadovými pískovci při bázi a fukoidovými pískovci při stropu. Je to typická napjatá zvodně, místy artéská. Počevní izolátor tvoří nepropustné horniny krystalinika (fylity s apofýzami žul) v lokálních depresích svrchního paleozoika a sladkovodního kontinentálního cenomanu (bazální brekie, nevytříděné pískovce, prachovce a uhelné jílovce). Stropní izolátor (poloizolátor) tvoří horniny spodního turonu (plenus zóna, kalové vápence, slínovce, prachovce). Souvrství cenomanu generelně upadá směrem k JZ. Severozápadní hranici tvoří strážský zlom.

Piezometrická hladina cenomanské zvodně je v současné době na ložisku Stráž řízena tak, aby v ploše VP byla obecně nižší, než je hladina nadložní turonské zvodně. Tento stav je udržován těžbou na polích, optimalizací vtláčení do hydraulické bariéry Stráž a provozem stanice likvidace kyselých roztoků. Původní piezometrická hladina cenomanské zvodně je v současné době na ložisku Hamr díky čerpání a vytvoření depresního kužele volná. Řešená problematika je složitá a k řízení se stále ve větší míře využívá matematických modelů.

Cenomanská zvodně je vázána na vrstvu rozpadavých pískovců (spodní část kolektoru), které jsou dobře propustné, málo zpevněné. Mocnost se pohybuje okolo 20 m a koeficient filtrace v řádu 10⁻⁵ m . s⁻¹. Fukoidové pískovce (vrchní část kolektoru) jsou propustné a více zpevněné než rozpadavé pískovce. Mocnost se pohybuje okolo 45 m a koeficient filtrace se pohybuje v řádu 10⁻⁶ m . s⁻¹. Celková mocnost kolektoru je okolo 50–70 m v závislosti na pozici uvnitř bloku.

Kolektor má puklinově-průlinový charakter, generel- ní směr proudění podzemní vody ve vazbě na širší okolí je od SV k JZ v neovlivněném stavu.

Cenomanský kolektor je dotován:

- *přirozeně*, tj. vsakem atmosférických srážek u lužic- kého zlomu (na SV), plošným nebo lokálním přeto- kem z turonského zvodněného kolektoru přes stropní (polo)izolátor za příhodných hydraulických podmí- nek na SZ od ložiska Stráž a přetokem ze sousedních hydrogeologických struktur (ze S z turonského kolek- toru tlusteckého bloku),
- *uměle*, tj. vtláčením turonských vod do HB Svěbořice a HB Stráž, používáním turonských vod do technolo- gie CHT a vtláčením chemikálií jako součásti loužící- ho roztoku.

Dotace z tlusteckého bloku v bezprostředním sou- sedství vyluhovacích polí s tlusteckým blokem se dříve nepředpokládala, ale z posledních výsledků měření hladinových poměrů při náběhu SLKR a s tím souvise- jícím zvýšením hydraulického spádu mezi oběma blo- ky ji lze potvrdit. Doposud nebyl přetok přesně kvanti- fikován.

Cenomanský kolektor je odvodňován:

- *přirozeně*, tj. přirozeným odtokem směrem k J a JZ (konečnou erozivní bází je linie Labe) a plošným a lo- kálním přetokem do turonského zvodněného kolekto- ru přes stropní (polo)izolátor za příhodných hydrau- lických podmínek na JZ od ložiska Stráž,
- *uměle*, tj. odvodňováním dolů Hamr I a Hamr II a pro-

vozem stanice likvidace kyselých roztoků (do Plouč- nice).

Řízení situace provádí hydrogeologická služba o. z. Těžba a úprava uranu v součinnosti s jednotlivými pro- vozy.

Hladina cenomanské zvodně se pohybovala před ná- během technologie SLKR v rozmezí 280 až 290 m n. m. v ploše ložiska Stráž a v rozmezí 140 až 190 m n. m. v ploše ložiska Hamr (depresní kužel DH I a DH II). Nejvyšší úrovně jsou v okolí HB Stráž.

Po zahájení provozu SLKR se hladinové poměry na ložisku Stráž změnila a hladina poklesla na 240 až 270 m n. m.

Hydrogeochemická charakteristika cenomanské zvodně

Cenomanský kolektor nebyl nikdy zdrojem pitné vody. Jeho neovlivněný chemismus má obdobný charakter jako voda z turonu (formace HCO_3 , facie Ca). Obsah U a Ra byl vždy limitujícím parametrem, pro nějž nemohly být tyto vody využívány. Chemické složení neovlivně- ných cenomanských vod ukazuje tabulka 3.

Jakost cenomanské zvodně na ložisku byla celkově změněna na tzv. technologický roztok, tj. roztok, který svým chemismem vyhovuje procesu podzemního loužení. Jeho kvalita je sledována v rámci kontroly pro- cesu technologie. Chemické složení technologického roztoku ukazuje tabulka 4.

Šíření roztoků mimo vyluhovací pole (tzv. „rozptyl“), a to převážně do depresního kužele DH I, je sledováno monitorovacím systémem. Vyhodnocování se provádí průběžně a na jeho základě jsou navrhována řešení smě- řující k minimalizaci dopadů pro životní prostředí. Od poloviny roku 1996 je v provozu technologie, která řeší čištění těžebních roztoků v objemu $1,7 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ vy- pouštěných vod do vodoteče (Ploučnice).

Tabulka 3. Chemické složení neovlivněných cenomanských vod strážského bloku (J. Šrámek, pracovní materiály)

parametr	jednotka	maximum	minimum	průměr
pH		6,9	6,4	6,73
Na^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	10,1	1,43	3,73
K^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,8	0,49	1,1
Ca^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	40,7	20,9	32
Mg^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	9	3,7	5,42
Fe_{celk}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	4,4	< 0,08	1,13
Mn^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,22	< 0,03	0,07
NH_4^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Al^{3+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Cl^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	11,5	2,3	6,79
SO_4^{2-}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	60	17	33,43
HCO_3^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	148	24	86,93
NO_3^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	< 1	< 1	< 1
HPO_4^{2-}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,17	< 0,05	0,06
F^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	< 1	< 1	< 1
U	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,16	< 0,002	0,02
Ra	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	24 400	1 490	8 739
Zn^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,25	< 0,02	0,5
Ni^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,2	< 0,05	0,06
rozpuštěné látky	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	225	78	140,33

Tabulka 4. Obsah složek v technologickém roztoku (J. Šrámek, pracovní materiál)

parametr	rozsah hodnot	parametr	rozsah hodnot
rozpuštěné látky	$50-70 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	Mg^{2+}	$30-50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
volná H_2SO_4 (pH < 2)	$0,5-20 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	Ca^{2+}	$200-500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
SO_4^{2-}	$30-50 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$	Na^+	$15-20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
NH_4^+	$800-1500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	K^+	$5-20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
NO_3^-	$700-1400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Al^{3+}	$5-10 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$
Cl^-	$7,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Fe_{celk}	$800-1500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
F^-	$100-300 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Mn^{2+}	$10-20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Pb	$0,2-0,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Zn^{2+}	$30-70 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
PO_4^-	$200-500 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Cr	$3-15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
SiO_2	$50-200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Cu^{2+}	$1-3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Be	$0,5-1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Th	$12-24 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
As	$6-12 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$	Ni^{2+}	$20-30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$

Turonský zvodněný kolektor

Středoturonský kolektor je tvořen souvrstvím středního turonu reprezentovaného kvádrovými pískovci a slínito-prachovitými pískovci. Na bázi je od cenomanského kolektoru oddělen souvrstvím spodního turonu, které má funkci hydrogeologického (polo)izolátoru.

Středoturonský zvodněný kolektor je v celém zájmovém území charakterizován volnou hladinou. Typ zvodnění je převážně průlinový, směr proudění podzemních vod je od SV k JZ při průměrném hydraulickém gradientu cca 0,004.

K dotaci kolektoru dochází infiltrací srážkových vod v celé ploše. Další možné dotace byly zmíněny v kapitole o cenomanské zvodni.

Odvodnění kolektoru je místně směřováno k erozivním bázím, tj. k Ploučnici a ostatním vodotečím, které jsou pravostrannými přítoky Ploužnického potoka na J oblasti. Kromě skrytých výronů do vodoteče lze na úpatí Ralska zaznamenat i prameny. Ty však mají souvislost se suťovými kužely Ralska.

Turonská zvodně je vázána na kvádrové pískovce, velmi dobře propustné a málo zpevněné. Koeficient filtrace se pohybuje v řádech 10^{-4} až $10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Mocnost kolektoru se pohybuje od několika metrů (na S u strážského zlomu) do první stovky metrů (na J).

Volná hladina zvodně se v zájmovém území pohybuje v rozsahu 290 až 300 m n. m. Snížení úrovně hladiny nastává pouze v okolí vrtů čerpaných za různými účely (dekontaminace ploch, pitná voda, technologie apod.) a pohybuje se maximálně do 2 m.

Nakládání s vodami v oblasti je vedeno snahou, aby úroveň turonské hladiny byla výše než úroveň cenomanské hladiny v ploše CHT. Za tohoto předpokladu je vyloučena situace, aby ke kontaminaci turonské zvodně mohlo dojít po netěsnostech ve spodnoturonském (polo)izolátoru.

Hydrogeochemická charakteristika turonské zvodně

Chemismus turonských vod je v původním neovlivněném stavu typu $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ s mineralizací 100 až $400 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Těžba uranu podzemním loužením ovlivnila chemismus turonských vod v ploše VP CHT na ložisku Stráž i na ložisku Hamr (VP-6).

Kontaminace turonské zvodně má lokální charakter. V neovlivněných plochách je turonský kolektor zdrojem kvalitní pitné vody. V ploše VP CHT se pro zásobování jednotlivých pracovišť využívá voda z turonských vrtů v objemu cca 20 000 m^3 za měsíc. Její jakost odpovídá ČSN 75 7111.

Ovlivnění jakosti vody turonské zvodně je způsobeno úniky kyselých roztoků přes netěsné vtláčecí vrty a úniky při poruchách povrchových rozvodů. Největší rozsah hydrochemických změn se nachází v ploše „nejstarších“

Tabulka 5. Chemické složení neovlivněných turonských vod strážského bloku (J. Šrámek, pracovní materiály)

parametr	jednotky	maximum	minimum	průměr
pH		7,1	6,1	6,7
Na^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	9	1	3,72
K^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	3,8	0,68	1,42
Ca^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	41	1,9	21,46
Mg^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	4,9	0,66	2,12
$\text{Fe}_{\text{celk.}}$	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	4,2	< 0,08	1,08
Mn^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,42	< 0,03	0,14
NH_4^+	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,88	< 0,05	0,12
Al^{3+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,21	< 0,4	0,45
Cl^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	15	< 1	7
SO_4^{2-}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	100	< 5	34,25
HCO_3^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	99	12,8	37
NO_3^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	13,2	< 1	5,22
HPO_4^{2-}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,42	< 0,05	0,11
F^-	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1	< 1	1
U	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,1	< 0,02	0,01
Ra	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$	460	< 10	73,6
Zn^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,22	< 0,02	0,05
Ni^{2+}	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	0,19	< 0,05	0,06
rozpuštěné látky	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	198	22	98,7

vyluhovacích polí s vrty tzv. 1. generace (tj. vrty pažené pouze jednoduchými PE pažnicemi). Poruchovost těchto pažnic za období 20 let se pohybuje těsně nad hranicí 10 % a je potvrzena karotážními měřeními. Opatření ke snížení kontaminace v turonské zvodni se aplikují na dvou úrovních:

- *pasivní opatření* spočívala v tom, že od r. 1979 od výstavby VP-12A byly vrty budovány s dvojnásobným pažením přes turonské souvrství. Dále jsou lépe kontrolovány sváry potrubí a neustále měřeny tlakové poměry v soustavě rozvodů. V případě poruchy rozvodů jsou bez prodlení prováděna nápravná opatření;
- *aktivní opatření* ke zmírnění kontaminace v turonské zvodni spočívají v odčerpávání kontaminovaných vod do HB Stráž, Ploučnice a technologie EDR.

Kontrola kvality turonské zvodně je prováděna na vybraných hydrogeologických vrtech v celé ploše chemické těžby a také s využitím indukční zapažnicové karotáže na vrtech 1. generace.

Poznatky o kontaminaci turonského zvodněného kolektoru lze shrnout do následujících bodů:

- intenzita kontaminace v turonské zvodni nemá stejnou úroveň v celé jeho mocnosti (existuje výrazná vertikální i horizontální zonálnost, kterou lze popsat řádovými rozdíly v chemismu u vrtů, které jsou od sebe vzdáleny v jednotkách až prvních desítkách metrů),
- místy jsou na bázi kvádrových pískovců vyvinuty jílovité polohy, které jsou karotáží indikovány jako kontaminace; pro upřesnění interpretace karotážních

měření byly vrty proměřeny s použitím gama spektrometrických metod a tím byla rozlišena kontaminace od jemnozrnných hornin,

- čištění turonského zvodněného kolektoru je třeba provádět selektivně, tj. odčerpávat nejvíce kontaminované polohy,
- sanační turonské vrty je nutné lokalizovat do míst největší kontaminace, hlavním vodítkem v umístění vrtů jsou výsledky karotážních měření,
- konstrukce sanačních vrtů (umístění filtru) je navrhována podle výsledků modelového řešení čerpání kontaminace a karotážních měření tak, aby nedocházelo k zatahování kontaminace do méně propustných podložních vrstev,
- při sanačním čerpání je nutné čerpat co nejmenší objemy z co nejvíce vrtů, aby nedošlo k rychlým a výrazným změnám proudění a tím homogenizaci čoček kontaminace.

Vrty používané pro čerpání turonských vod pro sanaci nejsou v současné době situovány v místech největší kontaminace, takže musí být odvrtny vrty nové.

Bilance znečišťujících složek v turonských vodách je shrnuta v tabulce 6.

Tabulka 6. Přehledná bilance kontaminantů v turonské zvodni

kontaminant	plocha (km ²)	objem (mil. m ³)	hmotnost (t)
SO ₄ ²⁻	6,4	72,4	19 900
NH ₄ ⁺	3,7	40,3	1 140
NO ₃ ⁻	–	–	360
F ⁻	–	–	200

Postup a výsledky sanačních prací budou sledovány prostřednictvím monitoringu (karotážního hladinového a hydrochemického) a matematických modelů.

Historický vývoj nakládání s důlními vodami

Zatímco hlubinná těžba potřebuje pro svou činnost téměř úplné odvodnění zájmového horizontu, chemická těžba naopak vyžaduje nezměněnou hladinu pro co nejnížší energetickou náročnost. Tak se stalo, že v důsledku neústupnosti zastánců jednotlivých metod, požadavků na plnění plánu těžby uranu a neschopnosti rozhodnout se pro jednu metodu došlo k vývoji obou metod na velice malé ploše (prostoru). To následně vedlo k situaci, kdy se obě metody zcela výrazně negativně ovlivňovaly a veškeré technologie určené na udržení vzniklé situace se daly přizpůsobovat jen velice pomalu a se zpožděním. Vzniklá koexistence vytvořila jednoduší organismus, kdy si zásahy v jedné části vyžadují nutnost provedení regulace ve zbylých částech tak, aby se dosáhlo co nejvyrovnanějšího stavu.

Od roku 1967 se začal vytvářet tzv. hydraulický dipól, kdy se vytvářela deprese v oblasti hlubinné těžby na SV, a zároveň se rozvíjela chemická těžba, která udržovala

relativně stabilní hladinu na JZ. Hlavní prvky ovlivňující hydrogeologickou situaci v oblasti a kapacity jejich čerpání, eventuálně vtláčení, byly uváděny do provozu v následující časové posloupnosti:

- Důl Hamr I (čerpání) – od roku 1967 dosud,
- Důl Hamr II (čerpání) – od roku 1981 dosud,
- Důl Křižany I (čerpání) – od roku 1974 do roku 1992,
- čerpací centra okolo CHT (čerpání i vtláčení) – od roku 1980 do roku 1996,
- hydraulická bariéra Stráž (vtláčení) – od roku 1978 dosud,
- hydraulická bariéra Svěbořice (vtláčení) – od roku 1987 dosud,
- stanice likvidace kyselých roztoků (čerpání z plochy CHT) – od roku 1996 dosud.

Hlavní vliv na hydrogeologickou situaci z hlediska změny hladinových poměrů mělo čerpání velkých objemů podzemních vod z cenomanského horizontu na DH I, částečně i na DH II a DK I. Výtláčná úroveň byla snížena téměř o 200 m s tím, že došlo k vytvoření deprese s volnou hladinou v celé s. části strážského bloku okolo strážského zlomu až ke zlomu lužickému. Plocha deprese s volnou hladinou je cca 25 km². Plocha v oblasti VP CHT udržuje dlouhodobě stabilní hladinu, a to i díky HB Stráž, která tvoří tlakové rozvodí mezi CHT a depresí DH. HB Svěbořice byla vybudována pro zamezení šíření roztoků na J od vyluhovacích polí chemické těžby.

V minulosti byla také provozována různá tzv. čerpací centra (ČC) a to jak pro čerpání, tak pro vtláčení důlních vod. Ta měla za úkol stabilizaci hladinových poměrů jak mezi CHT a DH, tak na samotné CHT. Šlo většinou o následné akce, které měly zabránit šíření kontaminovaných roztoků nežádoucím směrem nebo sloužit k jejich usměrnění požadovaným směrem.

V roce 1996 byla uvedena do zkušebního provozu a poté v roce 1998 do trvalého provozu SLKR I, která zajišťuje podbilanci vod v ploše CHT tak, aby se zabránilo dalšímu šíření roztoků CHT směrem mimo VP.

Orientační objemy čerpaných a vtláčených cenomanských vod pro charakteristická období jsou uvedeny v tabulce 7.

Vedle objemů čerpaných z cenomanské zvodně byly čerpány i významné objemy turonských vod, a to z důvodů odvodnění ražeb jam, potřeb technologické vody, sanace kontaminovaných ploch apod.

Současný stav nakládání s vodami v oblasti

Stav, který je udržován v současnosti, lze charakterizovat jako stav, který byl nastolen rozhodnutím o likvidaci a zatopení DH a náběhem technologie SLKR I pro vytvoření podbilance na CHT v roce 1996.

Hlavními prvky ovlivňujícími situaci v oblasti v současnosti jsou:

DH I (NDV) – čerpání vod z dolového pole DH I jámou

Tabulka 7. Orientační přehled čerpání a vtláčení cenomanských vod v minulosti ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

rok \ místo čerpání a vtláčení (+)	1967–1973	1974–1977	1978–1980	1981–1986	1987–1992	1993–1995	1996–1997
Důl Hamr I	7–13	21–24	20–26	27–32	29–35	28–32	25–27
Důl Hamr II	–	–	–	2–13	7–8	7–8	6–7
Důl Křižany I	–	1–4	3–7	5–9	3–5	–	–
čerpací centra okolo CHT	–	–	–	6–9	2–3	2–3	–
HB Stráž (+)	–	–	1–5	12–18	18–25	15–20	12–14
HB Svěbořice (+)	–	–	–	–	1–10	6–9	1–3
SLKR z VP CHT	–	–	–	–	–	–	1–2

Tabulka 8. Přehled čerpání a vtláčení vod v zájmové oblasti – typické týdenní průměry ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

objekt	čerpání (–) vtláčení (+)	zdroj	zpracování	cíl
DH I (NDV)	–6,7	dolové pole	CDS	Ploučnice
DH II – cenoman	–4,8	clonové vrty jámy č. 6	CDS	Ploučnice
DH I (KDV)	–16,3	5. drenážní patro	NDS-6, CDS (3,7) HB Stráž(12,6)	Ploučnice cenoman
HB Stráž	+13,4	DH I (KDV – 12,6), NTV v okolí (0,4), KTV z VP CHT (0,4)	–	cenoman
HB Svěbořice	+2,3	NTV v okolí	–	cenoman
SLKR I	–1,3	VP CHT	odpaření	Ploučnice

č. 3, které se zpracovávají na CDS a vypouštějí do Ploučnice,

DH II – cenoman – čerpání vod z oblasti DH II sloužící jako předsunutá drenáž DH I z jihu pro cenomanskou zvodně, zpracovávají se na CDS a vypouštějí do Ploučnice,

DH I (KDV) – čerpání vod z 5. drenážního patra DH I (P-5509, P-5506, P-5505, P-5517, P-5523) sloužící k zachycení KDV uniklých z prostoru CHT, větší část se vtláčí do HB Stráž, menší část se zpracovává na NDS-6 a CDS a vypouští do Ploučnice,

HB Stráž – vtláčení vod vyčerpaných z 5. drenážního patra DH I do linie vrtů na východním okraji CHT směrem k DH I, dělí se na HB Stráž-sever, střed, jih pro vtláčení KDV z DH I, a KTV z kontaminovaných ploch na CHT a jihozápad, Pavlín pro vtláčení NTV ze zdrojů v okolí,

HB Svěbořice – vtláčení vod vyčerpaných z tuonské zvodně do linie vrtů na jih od HB Stráž jihozápad pro vtláčení NTV ze zdrojů v okolí,

SLKR I – provoz zpracovávající roztoky CHT procesem odpaření, čímž zajišťuje podbilanci roztoků v ploše CHT, destilát se vypouští do Ploučnice, koncentrát se vtláčí zpět do VP CHT.

Výše uvedené objekty se podílejí na koloběhu vod v oblasti. Tabulka 8 podává přehled o objemech vod, které procházejí jednotlivými objekty v současnosti.

V tabulce jsou uvedeny objemy čerpaných a vtláčených vod z týdenních průměrů, charakterizující období let 1998 a 1999 bez uvažování technologických odstávek jednotlivých zařízení. Jde o stav směřující k postup-

nému pomalému zatápění DH I při snižování čerpaných objemů v jednotlivých objektech tak, aby mohlo dojít k zatopení dolu po roce 2003. Je to patrné při srovnání posledních dvou sloupců tabulky 7 s tabulkou 8.

SANACE OBLASTI

Tato kapitola byla z velké části převzata, upravena a aktualizována pro potřeby tohoto článku z publikace SLEZÁKA (ed. 1996).

Sanace horninového prostředí bude finančně i časově nejnáročnější činností při likvidaci těžby uranu v oblasti. V současné době jsou předběžně stanoveny cílové limity zbytkové koncentrace rozpuštěných látek v tuonské zvodni, a to na úrovni neovlivnění stávajících zdrojů vod nad mez jejich upravitelnosti, a z toho se odvíjejí limity koncentrací látek ve zvodni cenomanské.

Cílem sanace horninového prostředí je minimalizace přestupu kontaminantů z technologických roztoků do životního prostředí a k člověku. Sanace horninového prostředí zahrnuje sanaci cenomanské a tuonské zvodně.

Kontaminované roztoky budou postupně vyčerpávány na povrch a zde zpracovány na SLKR. Pevné produkty SLKR budou průmyslově využity nebo bezpečně uloženy. Kapalné produkty SLKR budou vtláčeny do podzemí, nebo vypuštěny do vodoteče.

Území těžby uranu se nachází v oblasti severočeské křídly. Oblast byla pro svůj výrazný vodohospodářský význam stanovena Nařízením vlády ČSR č. 85/1981 Sb. (o chráněných oblastech přirozené akumulace vod

Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvartér řeky Moravy) za chráněnou oblast přirozené akumulace vod (CHOPAV).

Na ložisku Stráž a v jeho okolí se v současné době nalézá na ploše 24 km² cca 270 mil. m³ kontaminovaných vod s celkovým množstvím rozpuštěných látek na úrovni cca 4,8 mil. tun. Z toho se ve vodárensky významné turonské zvodni na ploše 7,5 km² nalézá 80 mil. m³ ovlivněných vod, které obsahují cca 30 tis. t rozpuštěných látek. To znamená, že více než 99 % z celkového množství rozpuštěných látek se nalézá v cenomanské zvodni. Hlavními kontaminanty v roztoku jsou ionty síranové (3,8 mil. t), amonné (90 tis. t), hliníku (410 tis. t) a uranu (1000 t).

Výše uvedené objemy kontaminovaných podzemních vod nejsou v kolektorech přirozeně stabilizovány. Pokud by situace nebyla aktivně řešena, došlo by postupně k negativnímu ovlivnění kvality podzemních vod na velké ploše a ve velkém objemu. Po ukončení těžebních a sanačních aktivit dojde k přirozenému proudění podzemních vod k JZ.

Pro míru dalšího ovlivnění vod turonského kolektoru má rozhodující význam posouzení rizika vertikálního přestupu kontaminace ze spodního, vodárensky nevyužívaného cenomanského zvodněného kolektoru.

Ve směru přirozeného proudění vod cenomanského kolektoru byl proveden rozsáhlý geologický a hydrogeologický průzkum, který prokázal existenci dvou oblastí s potenciální možností přestupu kontaminace z cenomanské zvodně do turonské. První oblast, o celkové rozloze cca 160 km², je dána spojnici Stráž pod Ralskem–Hamr–Doksy–Jestřebí–Stráž pod Ralskem a nachází se v tzv. předpolí ložiska Stráž. Druhá oblast, o rozloze cca 15 km², tvoří úzký pás kolem Labe v místě vyústění Liběchovky a vzhledem ke své vzdálenosti a velikosti neovlivňuje sanaci horninového prostředí.

Oblast ložiska Stráž a jeho jz. předpolí je ceněna z hlediska rizika přestupu kontaminantů jako oblast významná. V této oblasti se vyskytují rizikové prvky geologické stavby (zlomy, žíly neovulkanitů, puklinové systémy a diatremy), jejichž největší kumulace se nachází přímo na ložisku Stráž, v pásmu strážského zlomu a v oblasti českolipského zlomového pole.

Dalšími významnými rizikovými prvky jsou nekvalitně tamponované vrty a vrty s porušenou výstrojí.

Po ukončení sanace je v přirozeném stavu předpokládán na ploše ložiska Stráž a v předpolí vertikální přetok vod z cenomanského do turonského kolektoru ve výši cca 17 l · s⁻¹. Rozhodující část přetoku je předpokládána na ploše cca 90 km², která zahrnuje vlastní ložisko Stráž a jeho bezprostřední jz. předpolí.

S uvážením výše uvedených skutečností bylo modelováno ovlivnění turonského horizontu pitných vod. Modelové výpočty byly provedeny pro ponechanou průměrnou koncentraci celkové solnosti v konturách ložiska Stráž a to pro 10 g · l⁻¹, pro 5 g · l⁻¹ a pro 3 g · l⁻¹. Výpočty ukazují, že ponechaná koncentrace 3 g · l⁻¹ cel-

kových rozpuštěných látek může znamenat 3–5násobné překročení normy pro pitnou vodu na bázi turonského horizontu pro amonný iont.

Zpracování dat pro těžbu a sanaci

Ve s. p. DIAMO se používají dva různé systémy pro zpracování geograficky orientovaných dat s vazbou mezi prostorovými souřadnicemi a různými parametry. Regionální topografická, geologická, hydrogeologická a jiná data charakteru 2D jsou orientována na systémy typu GIS. Ten zahrnuje území značně přesahující rozměry strážského bloku. Data charakteru 3D, popisující vertikální strukturu přírodního prostředí i kontaminace, jakož i veškerá data o chemismu, potřebná pro modelování, jsou ukládána do systému GTIS, který se plošným rozsahem omezuje pouze na prostor chemické těžby a jeho blízké okolí.

Geografické informační systémy

Geografické informační systémy jsou používány pro tvorbu základní mapové dokumentace, dokumentace hydrogeologických měření a výsledků modelovacích prací.

Geotechnologický informační systém (GTIS)

Systém byl vytvořen firmou InfoPartner, s. r. o., Liberec ve spolupráci s oddělením modelování technologických procesů ředitelství s. p. DIAMO. Upravená verze se používá v chemické těžbě převážně pro evidenci vrtů a dat s nimi spojených. Jde o aplikaci obecného informačního systému Agricola pro Windows. Systém plní dvě základní funkce:

- obsahuje primární i agregované informace o prostředí a technologických aktivitách,
- umožňuje automatizovanou přípravu výše uvedených dat k modelování přírodního prostředí.

Datový model systému je vytvořen v databázovém prostředí Paradox. V GTIS jsou uložena jednak data týkající se přímo provozu vyluhovacích polí, jednak data z širší zájmové oblasti, popisující stav cenomanské a částečně i turonské zvodně.

Systém umožňuje vytvořit z měřených primárních dat spojitý modely, popisující prostředí a aktivity v něm. Jsou připraveny modely pro zásoby uranu, modely provozní, zakyselení a chemismu v cenomanské zvodni, dále pak rovinný model proudění, model geologických rozhraní, modely strukturní a sanační.

Pro potřeby matematického modelování umožňuje systém ze zadané rovinné sítě vytvářet síť prostorové, které respektují existující geologické podmínky, a připravit pro ně okrajové a počáteční podmínky z reálných dat, včetně naplnění sítě materiálovými konstantami.

Matematické modely

DIAMO disponuje velkou škálou různých prostředků pro matematické modelování, převážně vlastní proveniencí s využitím všech historických poznatků a dlouhodobých zkušeností z oblasti.

Regionální hydrogeologický model strážského bloku

Model byl vyvinut ve s. p. DIAMO ve spolupráci s externími pracovišti tak, aby vyhovoval požadavkům modelování proudění v cenomanské i turonské zvodni strážského bloku. Je sestaven na principu metody konečných prvků. Pokrývá oblast větší než strážský blok.

Model řeší ustálené i neustálené filtrační proudění v nehomogenním anizotropním průlinovém horninovém prostředí při napjaté i volné hladině. V každém uzlu sítě je možné zadat okrajovou podmínku, v dynamickém modelu jsou okrajové podmínky časově závislé. V horní ploše modelu lze zadat plošnou dotaci, která umožňuje simulovat atmosférické srážky. Při výpočtu tvaru volné hladiny je možno respektovat skutečný tvar terénu. Výstupem jsou izolinie úrovní hladiny, vektory rychlosti proudění a číselné údaje o potřebném čerpání či vtláčeném objemu k udržení zadané výšky hladiny v daném bodu a lze volit zobrazení různých doplňujících informací.

Kinetické a termodynamické modely

Modely AMMPHRQ (chemický model bez prostorového rozměru) a AMMFLOW (kombinace chemických změn s 1D prouděním) vyvinula firma AMM, s. r. o., Liberec.

Popis fyzikálně-chemických jevů řídících interakci mezi podzemními roztoky a horninou je založen na termodynamických výpočtech rovnováh mezi složkami roztoku a příslušnými minerály v pevné fázi.

Celý modul interakce roztok – hornina byl realizován v programovém prostředí FORTRAN s cílem získat specializované nástroje optimalizované vhodným způsobem na výpočet acidobazických, oxidačně-redukčních, srážecích, rozpouštěcích a sorpčně-desorpčních rovnováh a příslušných kinetických trendů za dodržení potřebných nároků na rychlost výpočtů pro potřeby implementace do transportních modelů pracujících s řádem 10^4 elementů a stovkami časových rádků.

Transportně-reakční modely

Tyto 3D modely, vyvinuté ve s. p. DIAMO s účastí kooperujících institucí a firem, řeší transport látek a interakci mezi roztoky a horninami. Transportní část modelu vychází z hybridní formulace metody konečných prvků,

která zaručuje splnění podmínek rovnice kontinuity na každém elementu sítě. Tím je zaručeno i dodržení bilance transportovaných látek. Modelovaná oblast je menší než u regionálního hydrogeologického modelu, zato je detailněji členěna jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru. Vyměnitelný chemický modul se volí podle typu řešené úlohy. K dispozici je i verze modelu s dvojitou porozitou.

Modely slouží k prognózování vývoje situace při sanačním čerpání i pro výpočty šíření zbytkové kontaminace po ukončení sanace. K nejdůležitějším výstupům patří vývoj chemického složení čerpaných roztoků v čase, bilance látek v podzemí a rozložení koncentrací jednotlivých látek v roztoku a v hornině v časové řadě.

Simulační modely vtláčení koncentrovaných roztoků

Jde opět o transportně reakční model, ovšem detailnější a uzpůsobený pro výpočty s velkým počtem zdrojů a propadů. Používá se pro vyšetření podmínek vtláčení koncentráty z odparky v přípravném období sanace.

Globální technologicko-ekonomický model sanace

Model řeší technologické a ekonomické aspekty sanace horninového prostředí a navazuje na transportně-reakční model sanace.

Dosavadní výpočty ukazují, že asi od roku 2010 bude třeba zahušťovat cca $160 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ a od roku 2017 již cca $320 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ roztoků. V souvislosti s tím se bude intenzita cirkulace v závěru sanace zvyšovat. Zkoncentrovaný roztok kontaminantů z membránových technologií bude vtláčen do cenomanské zvodně. Smyslem tohoto opatření je jednak udržení stabilní podbilance na úrovni $100 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, a tedy i stabilní úrovně cenomanské zvodně, což je důležité pro čerpání, a dále urychlení sanace vytěšňováním kontaminovaných roztoků z hůře propustných fukoidových pískovců cenomanského zvodněného kolektoru.

Činnost vyluhovacích polí v období sanace bude průběžně sledována, vyhodnocována a řízena podle kontinuálně upřesňovaných matematických modelů. Zvlášť důležité bude rozhodování o vrtání nových čerpacích vrtů, které musí být v době poklesu koncentrací lokalizovány k zajištění maximálního přísunu látek na stanici SLKR I při optimálním využití kapacity membránových jednotek. Za celou dobu sanace bude třeba navrtat asi 100 čerpacích širokoprofilových vrtů.

Povrchové technologie pro sanaci

Před obdobím sanace byla vystavěna stanice pro likvidaci kyselých roztoků SLKR I. Během období přípravy sanace dojde k postupné výstavbě SLKR II. Technolo-

gické procesy na nově vystavěné SLKR II budou produkovat kyselinu sírovou a oxid hlinitý, případně síran hlinitý. Roztok čerpaný na SLKR I bude po dvoustupňové sorpci na CHS I zbaven uranu na úroveň nižší než $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ U. Vzhledem ke komplexnímu zpracování zasolených roztoků chemické těžby se nebude zpět vracet žádný roztok.

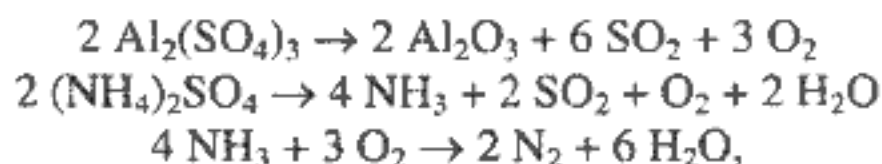
Technologie SLKR I

Technologie SLKR I je založena na odpaření roztoku přicházejícího z vyluhovacího pole po sorpci uranu na chemické stanici. Roztok je odpařen a koncentrát se v přípravném období sanace vrací po naředění do VP a v období sanace bude zpracováván na SLKR II. Destilát je a bude vypouštěn do vodoteče (Ploučnice).

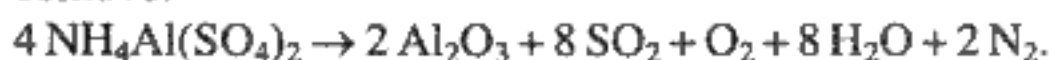
Technologie SLKR II

Technologie SLKR II navazuje na technologii SLKR I. Měla by zpracovávat krystalický síran hlinito-amonný $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ v množství až 33 tun za hodinu (250 000 t za rok) a matečné louhy (tekutý zbytek) po krystalizaci kamence v množství cca 250 000 m³ za rok. Zpracování kamence hlinito-amonného je možné několika způsoby.

Při přímé pyrolýze vznikají prázdné plyny a pevný zbytek, oxid hlinitý. Celý proces pyrolýzy popisují chemické rovnice dílčích reakcí:

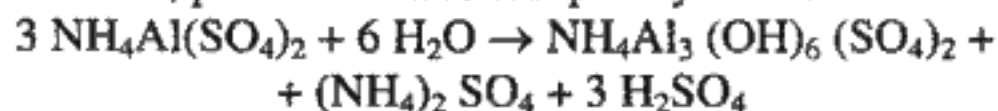


celkově:



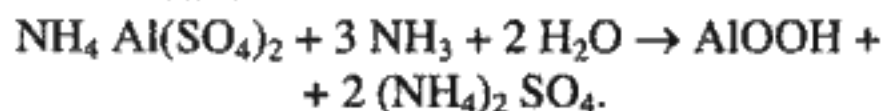
Plynný produkt pyrolýzy by měl být zpracován na kyselinu sírovou. Pevný produkt má, mimo využití jako surovina pro výrobu hliníku, široké spektrum uplatnění.

Při hydrolytickém tlakovém rozkladu kamence probíhá reakce, při níž vzniká nerozpustný alunit:

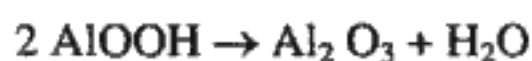


Přechod hliníku do nerozpustné alunitové fáze je ovlivňován teplotou a rychlostí náběhu teploty. Výsledný nerozpustný produkt alunit patří mezi produkty ekologicky nezávadně uložitelné.

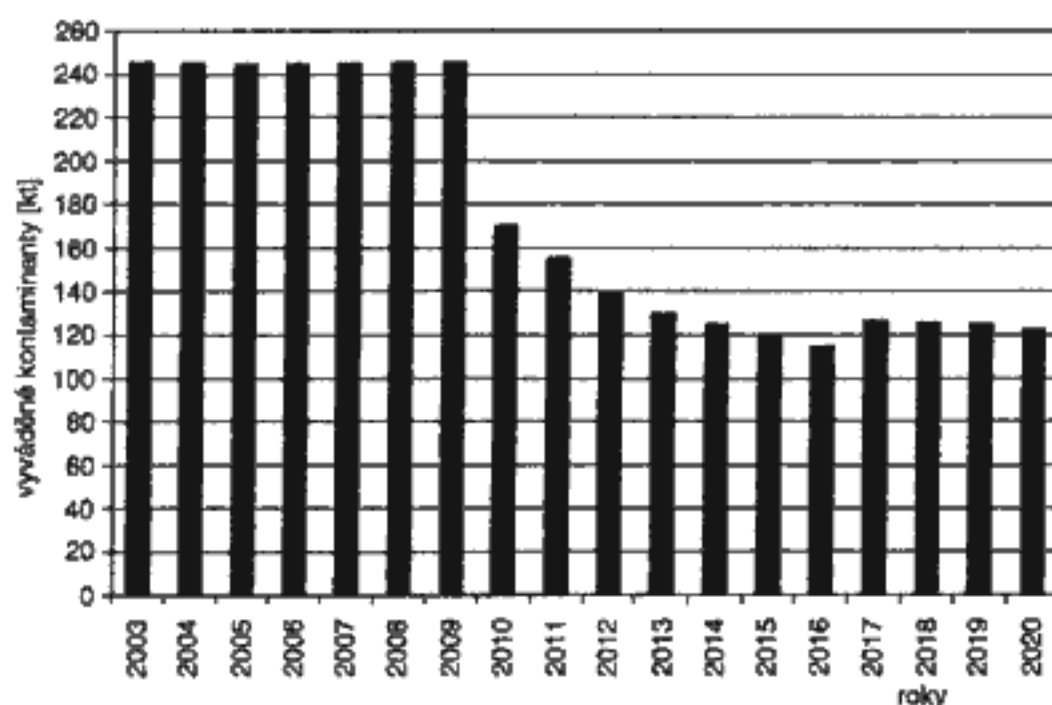
Hydrolytický rozklad kamence pomocí amoniaku je založen na reakci



Praktické provedení spočívá ve vnášení sušeného kamence do koncentrovaného roztoku amoniaku. Následně se oddělí sraženina boehmitu (AlOOH). Uvedená sraženina se po promytí převede kalcinací na oxid hlinitý:



Kombinace jednotlivých technologických postupů



8. Vyvádění rozpuštěných látek z chemické těžby v čase.

zpracování kamence a jejich variabilnost je ztěžována vyššími investičními náklady na náročné technologie.

Matečné louhy (tekutý zbytek) po krystalizaci kamence budou obsahovat převážnou část komponent obsažených v roztoku z podzemního loužení, včetně radionuklidů. Cílem zpracování je bezpečné uložení. Principem zpracování je třístupňové zahuštění s krystalizací. Krystalické produkty jsou vyváděny k dalšímu přepracování. Konečnými produkty technologie budou destilát, kyselina sírová a pevný produkt k uložení do odkaliště.

Membránové technologie (MT) pro zahuštění cenomanských roztoků

Vzhledem k výraznému poklesu TDS v roztocích čerpaných na SLKR bude nutné po roce 2010 zprovoznit první MT. V průběhu času budou přidány další jednotky MT tak, aby technologie SLKR byly plně využity. Koncentrát kontaminantů z MT bude čerpán na odparku a roztok zbavený většiny kontaminantů (diluát) bude řízeně vtlačován do VP podle požadavků na udržování hydraulické situace v cenomanském zvodněném kolektoru.

Elektrodialýza s reverzací (EDR)

Elektrodialýza je membránový separační proces využívaný pro dekontaminaci kontaminovaných turonských vod. Roztok po filtraci vstupuje do elektrodialyzéru, kde vlivem elektrického pole jsou složky v roztoku separovány na základě rozdílné propustnosti ionexových membrán. Vzniklý koncentrát je čerpán na SLKR I. Diluát se doupravuje a po smíchání s destilátem ze SLKR I vypouští do vodoteče. Kaly vzniklé doupravou jsou deponovány na odkališti.

Využití konečných „produktů“

Produkty vystupující ze SLKR II svým objemem přesahují současné možnosti prodeje na tuzemském trhu.

Možnosti uplatnění těchto produktů na světových trzích budou průběžně hodnoceny a technologie výroby bude operativně upravována.

Ať jde již o produkty konečně využitelné nebo ekologicky uložitelné, lze konstatovat, že přepracování produktů SLKR II volbou vhodných technologických postupů je možné.

Konečná řešení této problematiky je předmětem ověřovacích prací v přípravném období sanace.

Síran hlinitý, jehož lze produkovat v množství zhruba 100 000 t za rok, je využitelný ve vodárenství a v chemickém průmyslu.

Kyselina sírová, jejíž produkce může činit cca 150 000 t za rok, je běžnou obchodovatelnou chemikálií.

Hlavním a nejdůležitějším produktem bude oxid hlinitý. Množství produkovaného oxidu se bude pohybovat kolem 30 000 t za rok. V současné době mají sloučeniny hliníku široké uplatnění (např. elektrokeramika, žáruvzdorné materiály, piezoelektrika i transparentní keramika pro výbojky).

Imobilizace kontaminantů v podzemí

Cílem imobilizace kontaminantů obsažených v podzemních vodách cenomanského souvrství ložiska Stráž pod Ralskem je zastavení jejich dalšího šíření s pomocí umělé kolmatace. Vyvolání umělé kolmatace má dva záměry: možnost vytvořit kolmatací těsnicí bariéru ovlivňující žádoucím způsobem proudění kontaminovaných roztoků a za určitých podmínek možnost velkoobjemové neutralizace podzemí, nejlépe provázené alespoň částečnou imobilizací rozpustných složek roztoku jejich převedením na nerozpustné sloučeniny.

Dosáhnout dokonalé kolmatace znamená vyplnit pórový systém zcela pevnou fází nerozpustnou v dané proudící kapalině. Ve skutečnosti takový výsledek nelze očekávat. Část (zejména nejmenších) pórů zůstane nevyplněna, např. v inženýrské geologii se za úspěšnou injektáž gelem vodního skla považuje vyplnění 60 až 70 % pórů. Neméně závažné jsou také otázky technologické uskutečnitelnosti a ekonomické přijatelnosti technicky možných postupů umělé kolmatace, ať už v plošném nebo ve vertikálním rozsahu.

Ověření možnosti imobilizace zbytkových kontaminantů v cenomanské zvodni je jednou z alternativ ukončení procesu sanace vyváděním kontaminantů z podzemí.

Práce pro monitorování situace při sanaci

Monitoring horninového prostředí

Celý proces likvidace chemické těžby je zaměřen především na sanaci podzemních vod cenomanské a turonské zvodně. Z tohoto důvodu je monitoring základem pro vyhodnocování účinnosti sanačních postupů a technolo-

gií. Rozsah monitoringu horninového prostředí, četnosti měření a vzorkování budou neustále upřesňovány a optimalizovány v průběhu celé sanace, především na základě matematického modelování aktuálních výsledků.

Součástí monitoringu jsou hydrogeochemická vzorkování, která poskytují informaci o charakteru kapaliny v místech filtru, a karotážní měření, která poskytují zjednodušenou jednorozměrnou informaci ve vertikálním směru i mimo otevření vrtu. Pro doplnění a zpřesnění především karotážních výsledků se počítá s použitím metod povrchové geofyziky.

V období před zahájením činnosti SLKR I byla podstatně zvýšena četnost sledování hydrogeochemických změn v obou zvodních strážského bloku.

Pro turonskou zvodně v oblasti VP bylo rozšířeno sledování na starších širokoprofilových vrtech z původně cca 80 odběrů vzorků půlročně na stejný počet za čtvrtletí a průběžně bylo zahájeno sledování na realizovaných vrtech nového monitoringu. Současně bylo zavedeno pravidelné měsíční vzorkování cenomanu i turonu mimo plochu VP na celkem patnácti vrtech, které jsou převážně situovány v místech, kde se projevuje kolísání výsledků.

Rozsah chemických analýz je dán potřebami provozními a potřebami matematického modelování chování kontaminantů v podzemí v průběhu sanace.

Hydrologická sledování

Pro hodnocení možného vlivu hydrodynamických zásahů na hydrologický režim povrchových vod při provozu a sanaci oblasti byla od roku 1991 prováděna hydrologická měření. Při hydrogeologické interpretaci výsledků je nutné vycházet i z geologické a tektonické stavby území a konkrétních poměrů v turonské a cenomanské zvodni v době měření. Taková interpretace předpokládá osazení několika vodočtů. Údaje o průtocích jsou doplněny i o minimální rozsah jakostních ukazatelů (teplota vody, pH, vodivost) měřených přímo v terénu, resp. stanovení obsahu síranů ze vzorků vod odebraných ve vybraných profilech, zvolených podle výsledků terénních měření, což umožňuje lepší interpretaci získaných výsledků.

Přínosem pro hodnocení hydrodynamických zásahů do obou zvodní při sanaci chemické těžby budou sledování vybraných pramenů v oblastech, kde se předpokládá komunikace obou zvodní.

Karotážní měření

Při sanaci oblasti ložiska Hamr-Stráž lze úlohu karotáže rozdělit do dvou skupin:

- kontrola technického stavu vrtů udržovaných k dalšímu použití i vrtů likvidovaných. Uplatnit se mohou velmi různé soubory karotážních metod, podle požadovaných informací. Sem lze přiřadit i měření

pro získání prvotních geologických a technických údajů v nových vrtech;

- kontrola vývoje prostorového rozložení kontaminantů, pocházejících z chemické těžby ložiska Stráž, během jejich vyvádění z horninového prostředí. K tomu lze použít zejména indukční karotáž a speciální metodiku její interpretace, jak je tu používána od roku 1980.

Obě skupiny karotážních prací se týkají plánované sanace.

Indukční karotáž je potřeba spojovat zejména s hydrogeologickými údaji. Při kombinování karotážních a hydrogeologických nebo technologických údajů z vrtů je na karotážních křivkách nejcennější zachycení vertikálního průběhu veličin ve vrtu, ať je to měrná elektrická vodivost hornin nebo některý z odvozených parametrů popisujících kontaminaci pískovců, nejčastěji parametr Q_{ASP} (ekvivalentní koncentrace kyseliny sírové). Při karotážním měření je registrováno elektrické napětí, které se převádí na odpovídající měrnou elektrickou vodivost nekonečného prostoru kolem sondy. Tato veličina se převádí na „elektricky ekvivalentní“ množství kyseliny sírové v jednotkovém objemu pórového roztoku – parametr Q_{ASP} [$g \cdot l^{-1}$].

Veličina Q_{ASP} není stanovována technicky precizně, ale v rámci existující proměnlivosti pískovců jde více méně o odhad s minimální relativní chybou pod 25 % v rozmezí koncentrací Q_{ASP} 1–30 $g \cdot l^{-1}$. Pod hodnotou 0,3–0,5 $g \cdot l^{-1}$ chyba nepřijatelně narůstá vlivem proměnlivé prachovité příměsi v pískovcích, proto při standardním vyhodnocování nejsou hodnoty pod mez 0,5 $g \cdot l^{-1}$ interpretovány. Nad 50 $g \cdot l^{-1}$ chyba opět nepřijatelně narůstá vlivem nelinearity odezvy měřicího systému na měrnou elektrickou vodivost prostředí a částečně již i vlivem poklesu disociace kyseliny sírové ve vodě.

Postupem zpřesňování kalibrace bylo dosaženo vysoké věrohodnosti interpretovaných výsledků. Jako jeden z posledních příkladů může sloužit výpočet úbytku kontaminace v turonské zvodni po sanačním čerpání v průběhu pěti měsíců v druhém pololetí roku 1998 na vyuhovacím poli VP-8F, kdy úbytek koncentrace vypočtený z karotážních měření a z bilance vyvedených látek při čerpání byl téměř identický (21 % z karotáže vers. 20 % z bilance odběru vzorků a vyčerpaného objemu).

Sanace turonské zvodně

Cílem sanace turonské zvodně je snížení koncentrace rozpuštěných látek na úroveň, která zaručí nepřekročení stanoveného limitu koncentrace těchto látek v turonských vodách.

Proces sanace turonské zvodně byl zahájen ještě před vyhlášením likvidace a bude ukončen s dosažením stanoveného cíle. Při ukončení sanace bude nezbytné dosažení nižší koncentrace rozpuštěných látek, než bude

stanoveno MŽP. Důvodem je postupné a dlouhodobé zvyšování této koncentrace předpokládaným přestupem kontaminace z cenomanské zvodně po ukončení sanace horninového prostředí.

V současné době se ve vodárensky významné turonské zvodni nalézají na ploše cca 7,5 km² 80 mil. m³ ovlivněných vod, které obsahují cca 30 kt rozpuštěných látek. Znalost horizontálního i vertikálního rozložení kontaminace v turonské zvodni je na výrazně nižší úrovni než u zvodně cenomanské. Tato skutečnost je dána dlouhodobým zájmem především o loužení uranu v zájmovém horizontu. Kontaminace turonské zvodně je způsobena netěsností pažnic vrtů, úniky technologických roztoků z povrchových rozvodů a případnou vertikální komunikací mezi zvodněmi. Z těchto důvodů není kontaminace turonu plošně homogenní, ale tvoří více či méně ohraničené prostorové útvary („čočky“). Vertikální rozložení kontaminace je nerovnoměrné a její většina se nachází na bázi turonu.

Snížení koncentrace rozpuštěných látek v turonské zvodni bude dosaženo jejich vyváděním a následnou likvidací. Rozpuštěné látky budou likvidovány vtlačáním do cenomanské zvodně, zpracováním technologiemi SLKR a vypouštěním do vodoteče. O způsobu likvidace bude rozhodovat jejich koncentrace. Dané způsoby budou postupně kombinovány tak, aby bylo dosahováno minimálních nákladů na 1 kg zlikvidovaných rozpuštěných látek.

Vtláčení kontaminovaných turonských vod do cenomanské zvodně bude použito pro turonské vody s nejvyšší koncentrací rozpuštěných látek. Ty budou po vyčerpání svedeny spolu s výluhem na příslušnou CHS a následně vtlačeny s loužícím roztokem do cenomanské zvodně bez další úpravy. Tímto způsobem budou likvidovány vody s koncentrací rozpuštěných látek větší než 20 $g \cdot l^{-1}$, které budou čerpány v počátku likvidace lokální koncentrace TDS („čočky“).

Využití přímého vtláčení kyselých turonských vod do cenomanské zvodně je časově omezené, závislé na existenci míst s vysokou koncentrací TDS. Likvidované množství KTV bude cca 8 l · s⁻¹.

Čerpání kontaminovaných turonských vod na SLKR I bylo zahájeno v červenci 1996. Turonské vody s průměrnou koncentrací TDS 1 $g \cdot l^{-1}$ a v množství 35 l · s⁻¹, jsou čerpány na technologii EDR.

Vzniklý koncentrát je zpracován s cenomanskými roztoky na odparce a rozpuštěné látky jsou vtlačeny do cenomanské zvodně. Diluát je spolu s koncentrátem z odparky vypouštěn do vodoteče.

Využití technologií EDR je vázáno na existenci turonských vod s daným obsahem TDS a předpokládá se minimálně do roku 2017.

Vtláčení kontaminovaných turonských vod do HB Stráž bude uplatňováno především v období 1998–2001 a budou takto likvidovány turonské roztoky s obsahem TDS 1–2 $g \cdot l^{-1}$ v množství 33 až 110 l · s⁻¹.

Vypouštění kontaminovaných turonských vod do vodoteče bylo zahájeno ještě před vyhlášením likvidace CHT. Uvedený způsob vyvedení zbytkové kontaminace

je závislý na vodohospodářských limitech pro vypouštění vod. Jeho uplatnění bude především v závěrečné fázi sanace turonské zvodně, kdy obsah TDS nedosáhne stanovených císlových limitů, ale bude přijatelný pro vypouštění do povrchových vodotečí. Množství vyváděných KTV tímto způsobem v závěrečné fázi sanace turonské zvodně bude několik mil. m³ za rok.

Předpokládaný stav horninového prostředí po ukončení sanace

Hydraulickou situaci po ukončení sanace lze charakterizovat návratem k původnímu stavu hladin před zahájením těžby. Antropogenní přetoky z turonu do cenomanu a naopak budou během likvidačních prací minimalizovány, a proto se neočekávají výrazné anomální stavy oproti původním podmínkám. Mírný nárůst hladin se dá očekávat pouze v ploše dolu Hamr, a to z důvodu možného přetoku z turonské zvodně do cenomanské po preferenčních cestách (vrty, stříhové pukliny). Kontrolní měření hladin bude prováděno ještě po dobu několika let po ukončení sanace.

Transport kontaminantů na větší vzdálenost je možný především dobře propustnými rozpadavými pískovci ve spodní části cenomanského profilu v nepříliš vysokých koncentracích. Část zbytkové kontaminace nacházející se v hůře propustných vrstvách se bude vymývat velmi pomalu, zůstává u stropu cenomanského kolektoru v prostoru ložiska Stráž a bude v průběhu nejbližších staletí ohrožovat turonskou zvodně.

Vrtné práce

Vrtné práce na ložisku Stráž byly zahájeny vrtáním geologickoprůzkumných jádrových vrtů, následně byly prováděny vrty technologické a hydrogeologické. K výraznému rozvoji vrtných prací došlo po ověření zásob a schválení dobývací metody podzemním loužením pomocí vrtů z povrchu.

Vzhledem k rozdílným podmínkám v jednotlivých částech ložiska a s postupem vývoje vrtných technologií docházelo postupně i ke změnám vrtné sítě a konstrukce technologických vrtů. Postupně byly vyvinuty nové vrtné technologie s cílem dosáhnout minimalizace dopadů CHT do životního prostředí.

V oblasti strážského bloku bylo odvrtáno celkem 13 700 vrtů, které procházejí přes souvrství spodního turonu. Technologické vrty tvoří 54 %, hydrogeologické vrty 16 % a geologickoprůzkumné vrty 30 % z tohoto množství.

Vlivem realizace zmíněného množství vrtů došlo k narušení izolačních vlastností spodního turonu, což může umožňovat vertikální komunikaci mezi oběma kolektory. Jejimi negativními důsledky jsou především:

- dotace turonských vod do cenomanské zvodně a snížení účinnosti vytvářené podbilance,

- umožnění přestupu kontaminace do turonské zvodně v místech vyšší úrovně cenomanských vod než vod turonských.

Z těchto příčin může být porušení izolační funkce souvrství spodního turonu hlavní limitou určující délku sanace horninového prostředí. Způsobu likvidace, evidence a vyhledávání stávajících vrtů je nutno věnovat výraznou pozornost.

Základní druhy vrtů

Podle použitých typů souprav a vrtných průměrů můžeme rozlišit:

- vrty štíhlé – do konečného průměru vrtání 300 mm,
- vrty široké – od konečného průměru vrtání 450 mm.

Mezi těmito hodnotami byly vrty prováděny výjimečně.

Podle účelu vrtání lze vrty rozdělit na:

- vrty geologickoprůzkumné
- vrty hydrogeologické
 - pozorovací
 - čerpací
 - vtláčecí
- vrty technologické (provozní)
 - vtláčecí
 - čerpací.

Tabulka 9. Rozsah vrtné činnosti v oblasti

lokalita	GP vrty celkem	z toho GP vrty do 1971 (rizikové)	HG vrty	ostatní vrty (převážně CHT)	celkem
strážský blok	4 394	2 339	1 763	7 923	14 080
tlustecký blok	156	33	11	0	167
celkem	4 550	2 372	1 774	7 923	14 247

Technologické vrty

Pod pojmem technologické vrty jsou vedeny vrty odvrtané, vystrojené a předané chemické těžbě, určené pro její technologii (čerpací a vtláčecí vrty zajišťující cirkulaci loužícího media).

Vést evidenci vrtů, údaje o jejich konstrukci, provozní údaje o cirkulaci roztoků, jejich chemickém složení za celou dobu jejich existence s možností výběru, charakteristických geologických dat za libovolné období, o způsobu likvidace vrtů a jejich vyhodnocení včetně grafických prezentací v libovolném měřítku umožňuje systém GTIS. Kromě strojně početního zpracování je vedena evidence technologických vrtů včetně zásahů ve vrtech formou kartotéky jednotlivých vrtů.

Tímto způsobem je evidováno cca 7700 technologických vrtů předaných CHT k provozu. Z toho je více než 1400 vrtů zlikvidováno. Podle vrtaného průměru bylo

realizováno více než 7600 vrtů štíhlé konstrukce a 113 vrtů širokoprofilových. Ze štíhlých vrtů bylo cca 5250 tzv. 1. generace (bez ochranné Fe pažnice v turonu) a cca 2350 vrtů 2. generace (tj. s ochrannou Fe pažnicí v intervalu propustného turonu). Vrty 1. generace byly realizovány v období let 1967 až 1978. Od tohoto roku již byly vrtány vrty 2. generace. Od VP-4 až po VP-14 včetně jsou vtláčecí i čerpací vrty stejného provedení (štíhlé s pažnicí PE, Ø 90/110 mm, otevřené na patu), což umožňuje v případě technologické potřeby jejich částečnou zaměnitelnost. Od VP-15 až po VP-26 jsou vtláčecí vrty štíhlé a těžební vrty jsou širokoprofilové, umožňující nasazení výkonných ponorných čerpadel.

Konstrukce technologických vrtů prošla v průběhu let výrazným vývojem. Vtláčecí i čerpací vrty byly odvrtny průměrem 151 mm s použitím jílového výplachu na konečnou hloubku a zapažením pažnicovou kolonou z PE materiálu. Použití tohoto materiálu pro definitivní výstroje vrtů si vyžádalo zvládnutí technologie jeho spojování, vystrojovacích a cementačních prací. Pro zapuštění pažnicové kolony byla používána pevná Fe zátěž na patě pažnic. Cementace mezikruží byla prováděna zevnitř vrtu (metoda cementace oknem se zpětným ventilem a pevným napojením vrtných tyčí v místě cementačního okna) tak, až cement vyšel na povrch mezikruží. Kvalitativní požadavky spočívaly na přesném usazení filtrové části kolony nebo její paty s tolerancí 1 m, neprůchodnost vrtu nesměla být větší než 2 % z délky vrtu. PE pažnice musely být v celé délce těsné, cementace provedena od paty k ústí vrtu a vrt řádně vyčištěn od jílového výplachu včetně odkalovacího prostoru. Fe zátěže byly připevňovány na patu pažnicové kolony a po cementaci pažnic uvolněny a shozeny do odkalovacího prostoru. Pro zapažení vrtu byla zadávána hloubka paty pažnicové kolony, nacházející se nad zájmovým intervalem.

Takovéto vrty, které procházely turonským horizontem, byly vystrojeny pouze jednou pažnicovou kolonou a v případě jejího poškození mohlo dojít ke kontaminaci turonské zvodně loužicím roztokem. Proto bylo od roku 1978 přistoupeno ke změně konstrukce vrtu. Vrty s touto změněnou konstrukcí jsou označovány jako vrty 2. generace. Změna spočívala v tom, že délka vrtu v intervalu propustného turonu byla ještě zapažena zvnějšku Fe ochrannou pažnicí.

Pro řešení racionální těžby loužicího media v oblastech s poměrně zapadlou cenomanskou hladinou byly počínaje polem VP-15 realizovány širokoprofilové čerpací vrty. Tyto vrty byly konstruovány tak, aby odpovídaly podmínkám technologie vrtání s použitím nepřímého proplachu. Konečný průměr vrtu byl projektován v rozmezí 490–550 mm v závislosti na průměru přírub vrtných tyčí, kterými byla souprava vybavena. Byla stanovena povinnost projektovat dvojitou pažnicovou kolonu v intervalu propustného turonu. Průměry těchto pažnicových kolon byly 530–630 mm. Další pažnicová kolona byla projektována cca 5 m pod hladinu turonské zvodně. Tato zásada byla přijata z důvodu zabránění ka-

vernování stěn vrtu nad hladinou v případě ztráty výplachu a nutnosti vrtání části vrtu na ztrátu výplachu. Tyto kolony byly průměru 720–820 mm. Další průměry 1020, 1220 a 1420 mm měly v případě použití sloužit pro zajištění nezpevněných povrchových hornin. Vrtné průměry byly vždy o cca 150–180 mm větší než pažnice. Mezikruží zapažených kolon bylo vždy cementováno. Definitivní pažnicové kolony byly průměrově vázány na čerpací techniku, která měla být do vrtu instalována. U technologických vrtů to byly kolony 324 mm z materiálu Fe a filtrový úsek byl proveden z materiálu AKV včetně odkalovacího prostoru. Jako nejlepší typ filtru se osvědčil filtr můstkový, který umožňoval velmi snadno přizpůsobovat velikosti filtračních mezer hydrogeologickým podmínkám a velikosti obsypového materiálu. Před zapuštěním další definitivní pažnicové kolony průměru 219 mm z materiálu AKV byl vrt vyčištěn čerpacím pokusem s výkonem 10 až 15 l · s⁻¹. Tato výstroj byla zapouštěna na připravená sedla nad filtry a mezikruží bylo opět zacementováno. Takto byl vrt zabezpečen, aby vydržel všechny druhy tlakového namáhání.

Geologickoprůzkumné vrty

Vrty geologickoprůzkumné byly vrty jednoúčelové, vrtané za účelem vyhledávání a ověřování ložisek a geologicko-technologických informací.

Po odvrtní byly vrty oficiálně zlikvidovány. Do roku 1967 se vrty likvidovaly záhozem jílem, šterkem, skartovaným jádrem, ale také cementovou směsí, ovšem bez jednotných směrnic. V roce 1967 byly vydány směrnice, které jinou likvidaci než cementovou směsí nepřipouštěly. V roce 1968 bylo vydáno upřesnění k likvidaci vrtů cementovou směsí, avšak s působností na všechny závody tehdejšího GPUP, nezohledňující specifika dvou zvodněných horizontů v severočeské křídě.

Na základě výnosu č. 3/72 náměstka federálního ministra paliv a energetiky o likvidaci vrtů v oboru ČSÚP vznikla směrnice platná od 1. 1. 1972, která již řešila tamponáž geologickoprůzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly. V této směrnici jsou již řešena:

1. hydrogeologická kritéria
 - zamezit propojení zvodněných obzorů
 - zabránit zavodnění ložiska
 - neovlivnit stávající, resp. projektované pracoviště
2. geologická kritéria
 - horninové prostředí a tektonická pozice
 - charakter zvodnění (průlinový, puklinový)
 - ložisková oblast z pozice U
3. technická kritéria
 - hloubka a průměr vrtu
 - ztráty výplachem
 - propady vrtného nářadí
 - kontrolní činnost.

Tato směrnice pak byla ještě rozpracována a upravena v roce 1979 a dále v roce 1990. V roce 1992 byla vydána

další směrnice č. 7/1992, platná od 1. 3. 1992, která mimo zásad pro tamponáž těžebních a vtláčecích vrtů na vyluhovacích polích a hydrogeologických vrtů řeší sekundární tamponáž geologickoprůzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly. Po zkušenostech a rozpracování technologie na problémových vrtech byla v odštěpném závodu Chemická těžba s. p. Diamo ve Stráži pod Ralskem vydána nová, doposud platná směrnice č. 28/94 „Zásady pro tamponáž technologických vrtů vyluhovacích polí, hydrogeologických a technických vrtů a pro sekundární tamponáž geologickoprůzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly“.

Vzhledem k tomu, že již zmíněná kritéria nebyla v letech 1964–1971 respektována, bylo ředitelstvím koncernového podniku UP Liberec v letech 1975–1987 přikročeno k vyhodnocení tamponáže na GP vrtech podle prvotní dokumentace na ložisku Stráž a ložisku Hamr. Na základě tohoto vyhodnocení byly zahájeny nové likvidační etapy.

Tamponáž vrtů se prověřovala na základě pěti kritérií:

1. Báze kalových vápenců spodního turonu

Tento údaj je nutný k posouzení, zda hlava cementové směsi je dostatečně vysoko v prachovcích spodnoturonského izolátoru. Když ano, je reálný předpoklad vyhovující tamponáže; pokud je méně než 20 m nad bází spodního turonu, je vrt považován za rizikový.

2. Střední průměr vrtu

Je nutné stanovit všude tam, kde je nezapažená část vrtu. Tento údaj slouží k teoretickému výpočtu minimálně nutného objemu cementové směsi.

3. Množství suchého cementu

Údaj se získá v prvotní dokumentaci a po přepočtu se množství získaného objemu cementační směsi porovná s teoreticky vypočteným potřebným množstvím.

4. Ztrátové horizonty

Jejich počet, velikost (%) může rozhodující měrou ovlivnit ustálení hlavy cementové směsi ve vrtu.

5. Výše hlavy cementové směsi ve vrtu

Na základě kombinací všech čtyř předcházejících kritérií lze s určitou tolerancí stanovit výši hlavy cementové směsi ve vrtu.

Výsledky likvidačních etap byly překvapivě alarmující. Na základě revizí tamponáží vrtů, které prováděl s. p. DIAMO, odštěpný závod CHT, Stráž pod Ralskem od počátku 90. let, se za nejrizikovější dají považovat nejstarší geologickoprůzkumné vrty, tj. vrty realizované do konce roku 1971. Po prověření 340 vrtů této kategorie byla zjištěna nedostatečná tamponáž u 26 % vrtů. V drtivé většině chyběla cementační výplň stvolu vrtu vlivem selhání lidského faktoru a technologickou nekázní.

Hydrogeologické vrty

Při vyhledávání, průzkumu a těžbě uranových rud byly neoddělitelnou součástí průzkumných metod hydrogeologické práce. Hydrogeologické práce měly v ČSÚP svoji specifiku. Radiohydrogeologický průzkum byl

prováděn již koncem padesátých a počátkem šedesátých let. Po objevení ložisek ve strážském bloku se tyto práce soustředily na následující problémy:

- výzkum hydrogeologické struktury strážského bloku
- provozní otázky odvodnění ložiska
- řešení problematiky těžby uranové rudy podzemním loužením in situ
- problematiku možného ovlivnění prameniště pitné vody.

Odpovědi na výše uvedenou problematiku byly získávány prostřednictvím hydrogeologických vrtů.

Hydrogeologické vrty byly a jsou konstruovány podle svého účelu.

1. Štíhlé hydrogeologické vrty

V konstrukci štíhlých hydrogeologických vrtů proběhl následující vývoj:

1. Vrt byl navrtán do nepropustného turonu cca 20 m. Následně byl pažen, cementován, dovrtán a vystrojen ztracenou kolonou s filtrovou částí, nebo ponechán bez výstroje. Vzhledem k malému prostoru v mezikruží, poměrně malému intervalu určenému k utěsnění a posléze k faktu, že na těsnicí koloně bylo nutno provádět vrtnou činnost, docházelo ze 60 % k netěsnosti vrtů. Vrtné průměry a průměry výstroje odpovídaly tehdy dostupným jádrovacím průměrům vrtného nářadí. K odstranění těchto nedostatků byla zavedena dále popsaná konstrukce vrtů.

2. Vrt byl vždy vrtán do konečné hloubky. Technické kolony byly používány podle geologických podmínek. Definitivní konstrukci tvořila celistvá pažnicová kolona s odkalovacím prostorem, filtrem a kombinovanou kolonou 108/89 mm, kde průměr 108 mm byl pažen 20 a více metrů do prachovců spodního turonu a cementace této kolony byla prováděna oknem umístěným v patě průměru 108 mm pažnice. Při použití jednorázové kolony byl princip obdobný. Pokud spodní část vrtu nebyla vystrojena pažnicemi, cementace pažnicové kolony proběhla patou. Metoda byla problematická v případech výskytu cenomanských ztrát výplachu a rovněž nebylo možné používat obsypových materiálů na filtrované části kolony z důvodů malého mezikruží a používání jílového výplachu. V místech, kde bylo očekáváno písčování, byl na pažnicový filtr použit obmot ze silonového pletiva. Materiál pažnicové výstroje byl Fe.

3. Hydrogeologické vrty vrtané pro sledování turonského obzoru byly prováděny v pevných horninách jako jednorázový vrt s pažnicovou výstrojí, včetně filtru a odkalovacího prostoru. Filtr byl obalován silonovým pletivem a mezikruží bylo utěsněno pouze na ústí vrtu proti povrchovému přítoku vod do vrtu. V místech, kde byl předpoklad, že při čerpání z vrtu dojde k jeho písčování, byl vrt vrtán minimálním průměrem 216 mm, vystrojen průměrem 108 mm s obmotem a zbytek mezikruží byl vyplněn obsypem menší zrnitosti. Stabilita vrtu při čerpání byla dostatečná.

2. Širokoprofilové hydrogeologické vrtý

Konstrukce širokoprofilových vrtů vrtaných pro hydrogeologické účely byla poměrně stabilní a odpovídala podmínkám technologie vrtání s použitím nepřímého proplachu. Konečný průměr byl projektován v rozmezí 490–550 mm v závislosti na průměru přírub vrtných tyčí, kterými byla souprava vybavena. Technické kolony byly používány pouze pro zajištění stěn vrtu nebo pro přepažení ztrátového intervalu. Pro širokoprofilové vrtý sloužící k technologickým účelům (vrtý HB a pro loužení) byla stanovena povinnost projektovat dvojitou pažnicovou kolonu v intervalu propustného turonu.

Pro potřeby vytvoření dostatečné jímací plochy byl vyvinut systém rozšiřování zájmového intervalu po odvrtu vrtu před jeho vystrojením, a to až na vrtný průměr 800 mm. Takto provedené vrtý jak vyluhovací, tak bariérové pracují do současnosti velmi spolehlivě.

Zajištění filtrové části proti případnému pískování a definitivní pažnicové kolony z hlediska oddělení obou zvodní se na všech vrtech vrtaných technologií nepřímého proplachu provádělo následovně: Odkalovací prostor, filtrová část a technicky nutný interval nad filtrem byly obsypávány kačírky, dále následoval 2–3 m dlouhý pískový uzávěr a o něj byl opřen cementový most v délce 5–10 m. Po jeho zatvrdnutí následovaly cementační etapy o délkách, které byly v limitu s bezpečným namáháním pažnicových stěn na vnější tlak. Před zahájením cementačních prací byly vždy kontrolovány hloubkové hodnoty obsypu a předchozích cementačních etap.

Výjimku z výše popsané konstrukce širokoprofilových vrtů tvořilo malé množství vrtů, které na počátku rozvoje těžby ložiska provedly cizí organizace soupravami s přímým proplachem a s využitím jílového výplachu. Konstrukce byla obdobná jako u štíhlých vrtů prováděných na jílový výplach – filtry bez obsypu.

Postup při likvidaci vrtů

Postup, rozsah a způsob likvidace vrtů zohledňuje především nezbytnost maximálního obnovení izolačních vlastností souvrství spodního turonu, předpokládaný vývoj sanace horninového prostředí a postupné začleňování povrchu vyluhovacích polí do ekosystémů.

Technologické a hydrogeologické vrtý

Postupně budou likvidovány všechny technologické a hydrogeologické vrtý na ložisku Stráž. Hlavním kritériem pro zařazení vrtů do likvidace je technický stav vrtu, který nezaručuje těsné oddělení turonského a cenomanského kolektoru, nebo jeho nepotřebnost vzhledem k postupující sanaci horninového prostředí.

Celoplošná likvidace skupin vrtů bude zahájena od roku 2003 a bude probíhat do roku 2035.

V období sanace horninového prostředí od roku 2003 do roku 2030 bude ročně likvidováno cca 200 vrtů na ploše cca 20 ha. Likvidovány nebudou čerpací vrtý a vrtý tvořící základní monitorovací systém.

Po ukončení sanace budou v období 2031 až 2035 likvidovány zbylé vrtý. Ponechány budou pouze vrtý monitorující pohyb zbytkové kontaminace ve směru přirozeného proudění podzemních vod.

Geologickoprůzkumné vrtý

V dobývacím prostoru Stráž pod Ralskem probíhá likvidace (sekundární tamponáže) GP vrtů. Tyto vrtý byly vybrány pro retamponáž na základě nesplnění kritérií bezpečné prvotní tamponáže podle údajů ve vrtných denících.

Kritériem pro provedení retamponáže u dalších GP vrtů jsou následující podmínky:

- vrt se nachází v lokalitě, kde je předpokládána nebo zjištěna vertikální komunikace podzemních vod,
- dokumentovaný stav prvotní tamponáže neodpovídá požadavkům kladeným na těsné oddělení obou zvodní v místech mimo DP Stráž pod Ralskem a případná komunikace by negativně ovlivnila šíření kontaminace po ukončení sanace horninového prostředí.

Vrtý budou likvidovány na základě prováděcích projektů zpracovaných podle matematického modelování a strategie sanace.

Způsob likvidace vrtů

U vrtů technologických (těžebních), hydrogeologických a technických je způsob likvidace následující:

- Zaplnění volného intervalu v cenomanském souvrství.
- Obnovení nepropustnosti stvolu vrtu v intervalu souvrství spodního turonu.
- Doplnění vrtu cementovou výplní až po ústí vrtu.

U vrtů geologickoprůzkumných:

- Prověření kvality původní cementace stvolu vrtu z hlediska vyplnění vrtu cementem v intervalu prachovců, popř. kalových vápenců.
- Zaplnění kontrolovaného úseku vrtu až po ústí cementovou výplní.

Po ukončení likvidace vrtu nebo revizi tamponovaného geologickoprůzkumného vrtu sepíše dodavatel revizních a tamponážních prací závěrečný protokol, ve kterém se uvede skutečný způsob likvidace a revize vrtu.

Likvidace vrtů technologických, hydrogeologických a technických

Způsob likvidace vrtu závisí na konstrukci vrtu, technologii vrtání, vystrojení a cementačních pracích a na sta-

vu, ve kterém se vrt nachází těsně před zahájením vlastních likvidačních prací. Pokud vrt není průchodný do cenomanského souvrství, provádí se zprůchodnění úrovně báze spodního turonu ve vrtu. Vrty v cenomanském souvrství se tamponují od zjištěné hloubky do 10 m nad bází turonu.

U vrtu, kde se provedlo zprůchodnění do úrovně báze spodního turonu, se provádí tamponáž tak, aby hlava cementového sloupce končila rovněž 10 m nad bází spodního turonu. Dojde-li k úniku cementační směsi při tamponáži cenomanského souvrství, je možné provést pískový uzávěr na výšce 2–3 m a cementaci opakovat. U vrtu, kde není nutno provést kontakt s horninou, je prováděna cementace spodní části rovněž 10 m nad bází spodního turonu. U vrtu s tlakovým režimem v cenomanu je možno provést likvidaci v cenomanském souvrství plnoprofilovou tlakovou cementací. Po skončení cementačního klidu se vrt zprůchodní 10 m nad bází spodního turonu.

Kontakt s okolní horninou se provádí:

1. **trhacími pracemi** s použitím náloží trhaviny SEM-TEX,

2. **mechanickým narušením** pažnicové kolony vrtovou soupravou.

Oddělení obou obzorů se ověřuje:

- podtlakovou zkouškou,
- tlakovou zkouškou.

Vlastní tamponáž se provádí tehdy, pokud zkoušky prokáží těsnost vrtu, tj. oddělení obou zvodní po cementaci cenomanských vrstev. Následně se vrt zaplní cementovou směsí až po ústí vrtu. Po ukončení likvidace se pažnicové kolony odstraní na hloubku 1 m pod terén, není-li projektem stanoveno jinak.

Likvidace vrtů geologickoprůzkumných

Pro geologickoprůzkumné vrty je způsob přípravy závislý na okolnostech, za jakých byla ukončena likvidace úvodní pažnicové kolony, a rovněž na jeho umístění v terénu (pevný nebo bažinatý terén, stavební objekty a inženýrské sítě vybudované po odvrtání vrtu). V případě, že vrt není na povrchu identifikovatelný, musí být jeho poloha určena měřickým vytyčením a pak jeho ústí hledáno výkopovými pracemi.

Vlastní likvidace probíhá:

1. za podmínek přetlaku turonské zvodně na cenomanskou:

- jednorázovou cementovou dávkou s kontrolou hlavy cementu po jejím zatvrdnutí a poté docementování vrtu k jeho ústí;
- v případě výskytu ztrát v kvádrových pískovcích je možno tento interval uzavřít pískovým uzávěrem a revidovaný vrt docementovat k ústí;
- v případech, kdy vrtné nářadí nezastihne v turonském souvrství kalových vápenců a prachovců pevný cementový kámen a rychlé zprůchodňování pokračuje i v cenomanských vrstvách, se vrt tamponuje od zprů-

chodněné hloubky v cenomanském souvrství 10–20 m nad bází spodního turonu. Po ověření hlavy cementace se provádí druhá cementační etapa až po ústí vrtu. Dojde-li k úniku cementační směsi v cenomanském souvrství, je možno provést pískový uzávěr;

2. za podmínek přetlaku cenomanské zvodně na turon je zpracován speciální technologický postup, beroucí v úvahu specifické místní podmínky;

3. mimořádné případy, tj. vrty, u kterých dojde k vybočení vrtného nářadí mimo osu vrtu ve vrstvách kvádrových pískovců nebo prachovitých pískovců, budou posuzovány jako vrty nezrevidované; z osy vrtu na tvrdém cementovém kameni min. 20 m od báze nepropustných hornin spodního turonu lze revizí uznat tamponáž za provedenou.

Likvidace hydrogeologických vrtů s cenomanským přelivem

1. Potlačení přelivu

Potlačení přelivu se provádí začerpáním upraveného (zatěžkaného mikromletým vápencem) bentonitového výplachu. Výpočty potřebného množství a měrné hmotnosti jsou provedeny před zahájením prací na každém vrtu samostatně.

2. Zprůchodnění vrtu

Po zatlačení přelivu bude zahájeno zprůchodňování vrtu.

Převrtávání do hloubky perforací je prováděno na zatěžkaný výplach. V případě výskytu vážných technických překážek, které neumožní dosáhnout konečnou hloubku, je vrt zprůchodněn minimálně pod bází turonu.

3. Likvidace spodní (cenomanské) části vrtu

Zprůchodněný interval v cenomanu je vyplněn cementovou směsí od paty po hloubku 20 m nad rozhraní turonu a cenomanu.

Pokud se nepodaří v této fázi zároveň zacementovat perforaci výstroje a tím zlikvidovat přeliv, je cementace opakována. Podobný postup této cementace se stanovuje samostatně v konkrétní situaci.

Po cementačním klidu se provádí ověření hlavy cementového stvolu. Je nutno spolehlivě ověřit cement v hloubce 10–15 m nad bází turonu. V případě, že bude cement výše, nutno jej do určené hloubky odvrtat, v opačném případě potřebný interval docementovat.

4. Ověření těsnosti výstroje

Po likvidaci cenomanské části vrtu se provede kontrolní ověření těsnosti výstroje v turonské části hydrogeologického vrtu před získáváním kontaktu se stěnou vrtu.

K tomuto ověření se používá tlakové zkoušky. V případě netěsnosti se její druh a rozsah zjistí karotáží.

5. Dosažení kontaktu se stěnou vrtu

K dosažení kontaktu se stěnou vrtu se provádí perforo-

vání pažnic nad hlavou cementového kamene střelnými pracemi.

6. Ověření těsnosti vrtu

Po dosažení kontaktu se stěnou vrtu se provádí ověření hermetického oddělení cenomanské části a turonského vodního obzoru a) podtlakovou zkouškou a b) tlakovou zkouškou.

7. Vlastní tamponáž

Pokud zkoušky prokáží těsnost vrtu, provádí se vlastní tamponáž naplněním vrtu cementovou směsí až po jeho ústí. V případě zjištěného průtoku cenomanu do turonu se provádí tlaková cementace cca 1–2 m³ cementové směsi. Po cementačním klidu se provede ověření hlavy cementu a zprůchodnění vrtu cca 5–10 m nad provedenou perforací pažnic. Poté se provede opakovaná perforace pažnic Fe, zkouška těsnosti, karotážní měření a cementace až do kladného výsledku utěsnění obou horizontů.

ZÁVĚR

Udělat jednoduché závěry z nastíněné problematiky, která je velice složitá a musí být vždy posuzována v historických souvislostech, není lehké. Je pravdou, že extenzivní rozvoj chemické těžby a hlubinné těžby v těsném sousedství, daný požadavky co nejvyšší produkce v co nejkratší době a politickou situací bez ohledu na stav poznání situace v době rozhodování, poškodil jak metodu chemické těžby, tak i metodu hlubinné těžby, negativně ovlivnil jejich ekonomické výsledky a stal se významným v dopadu na životní prostředí. Proto je jedním z nejdůležitějších faktorů dobré poznání historického vývoje a jeho analýza, popis současného stavu a poté přijetí systému, který by omezil opakování chyb z minulosti i v budoucnosti.

Lze si přát, aby se situace neopakovala v jiné rovině, a to v sanaci oblasti.

Příspěvek je založen na stavu znalostí k roku 1999. Autor obrázků M. Klíma.

K tisku doporučil Z. Hrkal

Literatura

- KOPECKÝ, P. et al. (1998): Jihozápadní předpolí ložiska Stráž. Závěrečná zpráva o řešení geologického úkolu, II. etapa. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- MERTA, O. (1991): Odvodňování dolu Hamr. – Diplomová práce PGS HGF VŠB Ostrava, MS archiv autora.
- SLEZÁK, J. (ed.) (1996): Technický projekt likvidace chemické těžby uranu ve Stráži pod Ralskem a související sociální program. Kniha I a Kniha II. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- SLEZÁK, J. et al. (1998a): Zpráva o hydrogeologických pracích a „rozptylu“ kyselých důlních vod za rok 1997. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- SLEZÁK, J. et al. (1998b): Zpráva o hydrogeologických pracích a „rozptylu“ kyselých důlních vod za 1. pololetí 1998. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- SLEZÁK, J. et al. (1999): Zpráva o hydrogeologických pracích a „rozptylu“ kyselých důlních vod za 2. pololetí 1998. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- sine (1995): Analýza chemické těžby uranu na ložisku Stráž se zvláštním zřetelem na přípravu sanace a sanaci přírodního prostředí. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- sine (1997a): Roční zpráva o výsledcích geologickoprůzkumných prací za rok 1996 – HYDROGEOLOGIE. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- sine (1997b): Komplexní model hodnocení rizika na obyvatelstvo a ŽP ve vazbě na sanaci CHT v oblasti Stráž pod Ralskem, zpracovatel ÚJV Řež, a. s. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.
- sine (1998): Revize HG vrtů v ploše CHT a nejbližším okolí. – MS archiv s. p. DIAMO, Stráž pod Ralskem.

History of uranium production in the area of Stráž pod Ralskem (the North Bohemian Cretaceous Basin) and hydrogeology

(Summary of the Czech text)

JAN SLEZÁK

Received March 14, 2000

This paper deals with the most recent uranium ore production area in the Czech Republic located in the northern part of the Bohemian Cretaceous Basin. It is also the area where the exploration, production and processing of uranium ores have had the greatest impact on the environment, predominantly due to extensive changes in the groundwater flow regime and quality caused by an incompatible combination of in situ leaching (ISL) technology and classical deep mining. The ISL technology used sulphuric acid as a leaching agent, as well as other chemical agents in the process. This has led to huge contamination of groundwater in the aquifers, forming a potential menace to the high-quality drinking water resources in the surrounding area.

The mining area lies in the Stráž block, a tectonically confined area of Upper Cretaceous sediments. Some facilities are situated in neighbouring Tlustec block. The two blocks are separated by the Stráž fault. The Stráž block uranium deposits occur in sandstones at the basal part of the Upper Cretaceous sedimentary complex. The thickness of the ore bodies averages a few metres. Two aquifers are developed in the Stráž block. Lower confined aquifer in Cenomanian sandstones is approx. 60 m thick, its hydraulic conductivity is 10^{-5} to 10^{-4} m . s⁻¹ and effective porosity 5 to 18 %. The upper unconfined aquifer in Middle Turonian sandstones is 40 m thick in average, its hydraulic conductivity is 10^{-4} m . s⁻¹ and effective porosity around 20 %. The aquifers are separated by Lower Turonian aquifuge.

The deposits were discovered at the beginning of the 60s. Their extended exploration started afterwards, approx. 7500 exploration boreholes were drilled in the area. All the mining activities were performed in lower part of Cenomanian layers. Two mining technologies were used at the same time in the area – in situ leaching on the Stráž deposit and classical deep mining on the Hamr and Břevniště deposits.

The ISL area presently extends over 6.5 km² and includes more than 7500 production wells. More than 15 000 tonnes of uranium in concentrate have been produced with use of 4.1 million tonnes of sulphuric acid, 0.3 million tonnes of nitric acid, 0.11 million tonnes of ammonium and 0.03 million tonnes of hydrofluoric acid. It influenced the quality of groundwater in the area.

Deep mines produced more than 12 000 tonnes of uranium. To dewater the mines 12 to 19 million m³ per year were pumped and discharged between 1976 and 2000 from the deep mines. This influenced the quantity of groundwater in the area.

Many corrective measures such as injection of neutralising agents, hydraulic barriers creation etc. were performed. None of them were entirely efficient. Combination of quality and quantity factors has led to huge negative influence on the environment. It was a basis for remediation programme, which started in 1996. The associated problems and effects of former exploration show that:

- the rock environment in the direction of natural groundwater flow to the SW is hazardous with respect to possible contamination overflow to higher aquifers and to the surface,
- the proposed remediation of both Cenomanian and Turonian aquifers is based on hydrodynamic principle, i. e., contaminated groundwater will be stabilised in a hydraulic depression and pumped to the surface,
- the remediation of Cenomanian aquifer is expected to reduce the amount of contaminants from 25 g . l⁻¹ to 8 g . l⁻¹ of TDS in a volume of 190 million m³,
- the surface-based technology will involve a multi-step principle of evaporation, crystallization, re-injection of solutions and cleaned water and membrane technologies after 2007.

The present cost estimate for the remediation process is more than 1 billion USD for a period of more than 40 years at present prices.

Translated by the author

Explanations of text figures

1. Location of the area of interest in the Czech Republic.
2. Block structure of the area of interest and its surroundings.
3. Relationship between exploration boreholes grid and JTSK (Czech co-ordinate system).

4. Location overview of the deposits in the Stráž block.
5. Situation scheme of production operations.
6. Scheme of ISL technology.
7. Location of leaching fields in the ISL area.
8. Contaminant production from ISL area in time.

Explanations of tables

- | | |
|---|---|
| 1. Comparative stratigraphic table of the area of interest. | 5. Chemical composition of natural Turonian water of the Stráž block. |
| 2. Development of mine water pumping from the Hamr deep mine. | 6. Overview of contaminants amount in Turonian aquifer. |
| 3. Chemical composition of natural Cenomanian water of the Stráž block. | 7. Overview of pumping and injection of Cenomanian water in the past. |
| 4. Chemical composition of ISL solutions. | 8. Overview of pumping and injection of water – typical week average. |
| | 9. Extent of drilling activities in the area. |