HYDROGEOLOGICKÉ ASPEKTY KONCEPČNÍHO MODELU VYUŽITÍ DŮLNÍCH VOD ZATOPENÝCH HLUBINNÝCH URANOVÝCH DOLŮ JAKO ZDROJE URANU

HYDROGEOLOGICAL ASPECTS OF THE CONCEPTUAL MODEL OF UTILISING MINE WATERS FROM FLOODED UNDERGROUND MINES AS A SOURCE OF URANIUM

Naďa Rapantová, Bedřich Michálek, Arnošt Grmela, Josef Zeman

ABSTRACT

In the course of the development and exploitation of particular uranium deposits, the mine waters chemistry changed depending upon the extent of infiltration area, the total volume of worked-out uranium ore, its mineralogical composition and also the achieved depth of mining. In the course of flooding the underground mine after its closure many important changes occur in the content of dissolved substances in waters that increases several times (uranium, radium, iron, and others). Mine waters of flooded former uranium mines thus represent, with reference to their considerable volumes, a significant source of uranium. We are presenting hydrogeological aspects of conceptual model of the mine waters intensive utilisation from flooded uranium mines as a source of uranium with an accompanying effect of shortening the time necessary for the purification of mine waters discharged into the river.

KEY WORDS

uranium ore, mine waters, uranium mining, non-traditional utilisation of deposits

KLÍČOVÁ SLOVA

uranová ruda, důlní vody, uranové hornictví, netradiční využití ložisek

ÚVOD

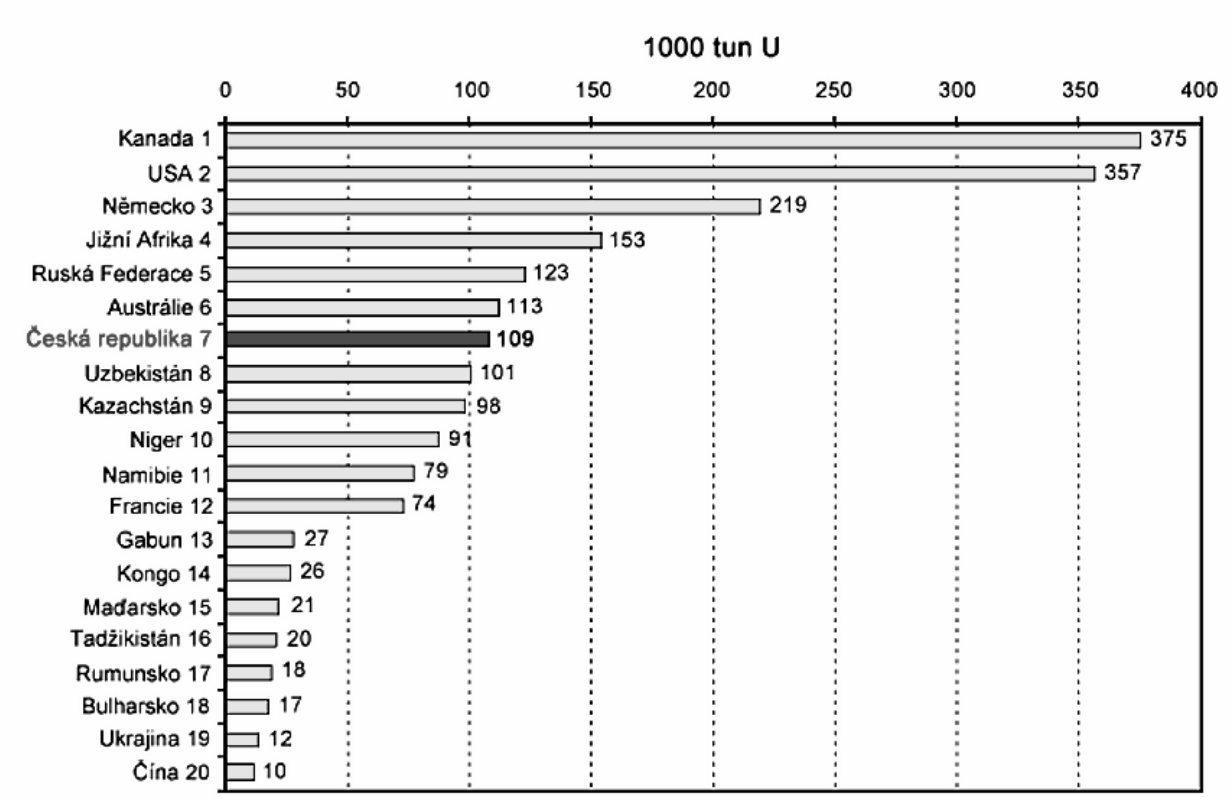
Na území nynější České republiky, i přes jeho malou rozlohu, zaujímala těžba nerostných surovin po dlouhou dobu významné místo ve světě. Počínaje stříbrem, zlatem v ranném středověku a ostatními kovy z polymetalických rud, přes kaustobiolity a další nerosty až po uran – ve kterém např. těžba za období 1945 – 2004 dosáhla až 7. místa ve světě (obr. 1, zpracován z materiálů s. p. DIAMO – Michálek et al., 2005).

Nerostné bohatství této země je již značně vyčerpáno a zbylé zásoby nerostných surovin byly mnohdy pouze z ekonomických příčin odhozeny.

K útlumu nejmladšího odvětví – těžby uranové rudy – dochází od konce 80. let minulého století a to jednak z důvodu vytěžení bilančních zásob některých ložisek a jednak z důvodu výrazného snížení možnosti odbytu v důsledku politicko-ekonomických změn, které se udály na přelomu 80. a 90. let minulého století. V současné době probíhá těžba již pouze v jednom hlubinném dole na ložisku Rožná s možným ukončením těžby po roce 2010.

V České republice tak v současnosti zůstává pouhé torzo z bývalé hornické slávy – těžba kameniva a štěrkopísků, těžba uhlí na Karvinsku a ve Staříči, hnědého uhlí na Mostecku a Sokolovsku a těžba ropy na Hodonínsku.

Doc. Ing. Naďa Rapantová, CSc., Doc. Ing. Arnošt Grmela, CSc., prof. ATH
VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba, ČR, nada.rapantova@vsb.cz,
Akademia Techniczno-Humanistyzcna, Inst.WNMiŚ, Bielsko-Biała, Polsko, arnost.grmela@vsb.cz
Ing. Bedřich Michálek, PhD.
DIAMO s.p., o.z. GEAM,592 51 Dolní Rožínka, ČR, michalek@diamo.cz
Doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
Masarykova Universita v Brně, Ústav geologických věd, Brno, ČR, jzeman@sci.muni.cz



Obr. 1: Světová produkce uranu 1945 – 2004
Fig. 1: Total uranium production in 1945 – 2004 in the world

Nerostné bohatství této země je již značně vyčerpáno a zbylé zásoby nerostných surovin byly mnohdy pouze z ekonomických příčin odhozeny.

K útlumu nejmladšího odvětví – těžby uranové rudy – dochází od konce 80. let minulého století a to jednak z důvodu vytěžení bilančních zásob některých ložisek a jednak z důvodu výrazného snížení možnosti odbytu v důsledku politicko-ekonomických změn, které se udály na přelomu 80. a 90. let minulého století. V současné době probíhá těžba již pouze v jednom hlubinném dole na ložisku Rožná s možným ukončením těžby po roce 2010.

V České republice tak v současnosti zůstává pouhé torzo z bývalé hornické slávy – těžba kameniva a štěrkopísků, těžba uhlí na Karvinsku a ve Staříči, hnědého uhlí na Mostecku a Sokolovsku a těžba ropy na Hodonínsku. Protože však život společnosti i průmysl v republice potřebuje nerostné suroviny – ať již jako vstupní surovinu výrobků, tak i jako energetický zdroj – musí stávající situaci řešit. Jednou z cest je nalezení způsobů využití tzv. netradičních surovin (bioplyn, biomasa, zpracování odpadů…), využití obnovitelných zdrojů energie (energie větru, vody, geotermální energie…) ale i využití jiných netradičních metod získávání surovin z horninového masívu. Právě touto problematikou se zabýváme v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 105/06/0127 „Netradiční využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby“.

Koncepční model projektu vychází z toho, že chemismus důlních vod se v průběhu otvírky, exploatace a následného opuštění ložiska po jeho likvidaci výrazně mění. Je to důsledek několika faktorů:

1. Změna zdrojů v rovnici vodní bilance dolu (Grmela et al., 1997):

- otvírka:

$$Q_{čerp.} = Q_{provoz} + Q_{přírodní\ zdr.} - Q_{vent.} \pm Q_{ztráty},$$

- provoz:

$$Q_{čerp.} = Q_{provoz} + Q_{přírodní\ zdr.} - Q_{vent} - Q_{těžba} \pm Q_{ztráty} \pm Q_{akumulace},$$

- opuštěné ložisko:

$$Q_{výtok\ (čerp.)} = Q_{přírodní\ zdr.} \pm Q_{ztráty},$$

Pozn.: Významný podíl zdroje je uveden tučně, přičemž podíl, zejména v přírodních zdrojích, je proměnný, je funkcí zejména hydraulického spádu k úrovni odvodňovací báze v dané době platnosti rovnice.

Pozn.: Není uveden nezanedbatelný podíl antropogenních látek, ovlivňujících hlavně kvalitativní parametry důlních vod.

2. Změna fyzikálně-geochemického a hydrogeochemického prostředí v průběhu rozvoje dolu (Grmela, 1998, Rapantová, Grmela, 2004, Grmela, Rapantová, 2006):

- změny vyvolané postupným otevíráním/uzavíráním přítoků vod z přírodních zdrojů při postupu dolu v ploše dobývacího prostoru i rozvojem dolu do hloubky,
- změny způsobené otevřením různého horninového prostředí (s různým minerálním složením a s různou reaktivitou minerálů na vznikající oxidační procesy), změny způsobené reakcemi hydrogeochemických roztoků v dole, působení přírodních i provozních vod na horninové prostředí apod.,
- vliv důlní atmosféry na různé druhy hornin a důlní vody.

3. Změny fyzikálně-chemického prostředí po likvidaci dolu (Rapantová, 1997, Zeman, Kopřiva, 2002, Hudáček et al., 2004, Grmela et al., 2005, Šlesárová et al., 2006):

- změny vyvolané nepřístupnosti vzduchu a změny složení zbytkové důlní atmosféry,
- změny složení důlních vod v souvislosti ukončením zdroje tzv. provozních vod a snižováním podílu (až zánikem) některých přírodních zdrojů,
- snižování obsahu kyslíkové bilance v čase a s hloubkou,
- změny spojené s minimalizací dříve vyvolaného a udržovaného proudění důlních vod důlními díly,
- přestup látek (evaporitů) ze „suchých“ důlních děl do roztoku po jejich zatopení.

Pozn.: Tyto změny se velmi silně odrazí ve změnách kyslíkové bilance, pH, Eh, vodivosti atd. a odtud pak v agresivitě vod, v rychlosti geochemických reakcí apod.

Námi řešená problematika výrazně zasahuje a zároveň i využívá poslední výše uvedený faktor, tj. zabýváme se geochemickým režimem důlních (resp. stařinových) vod po zatopení dolů a možnostmi jejich využití jako zdroje uranu.

Navržený projekt řeší možnosti intenzivního využití důlních vod zatopených uranových dolů jako zdroje uranu s doprovodným efektem zkrácení nutné doby pro čištění vypouštěných důlních vod do povrchových vodotečí. Pokud se potvrdí uvedený záměr využití důlní vody ze zatopených uranových dolů jako druhotného zdroje suroviny teoretickými propočty a modelováním, umožní to při následné realizaci záměru získávat nezanedbatelné množství uranu a to v době, kdy je předpokládán růst potřeb, ale i cen této komodity (například ve vodách zatopeného ložiska Příbram lze odhadovat v současné době cca 200 t rozpuštěného uranu, další rozpouštění bude ještě pokračovat). Významný by byl rovněž následný efekt na zkrácení nutné doby čištění důlních vod, které je v podmínkách České republiky financováno ze státního rozpočtu.

VYUŽITÍ DŮLNÍCH VOD ZATOPENÝCH HLUBINNÝCH URANOVÝCH DOLŮ JAKO ZDROJE URANU

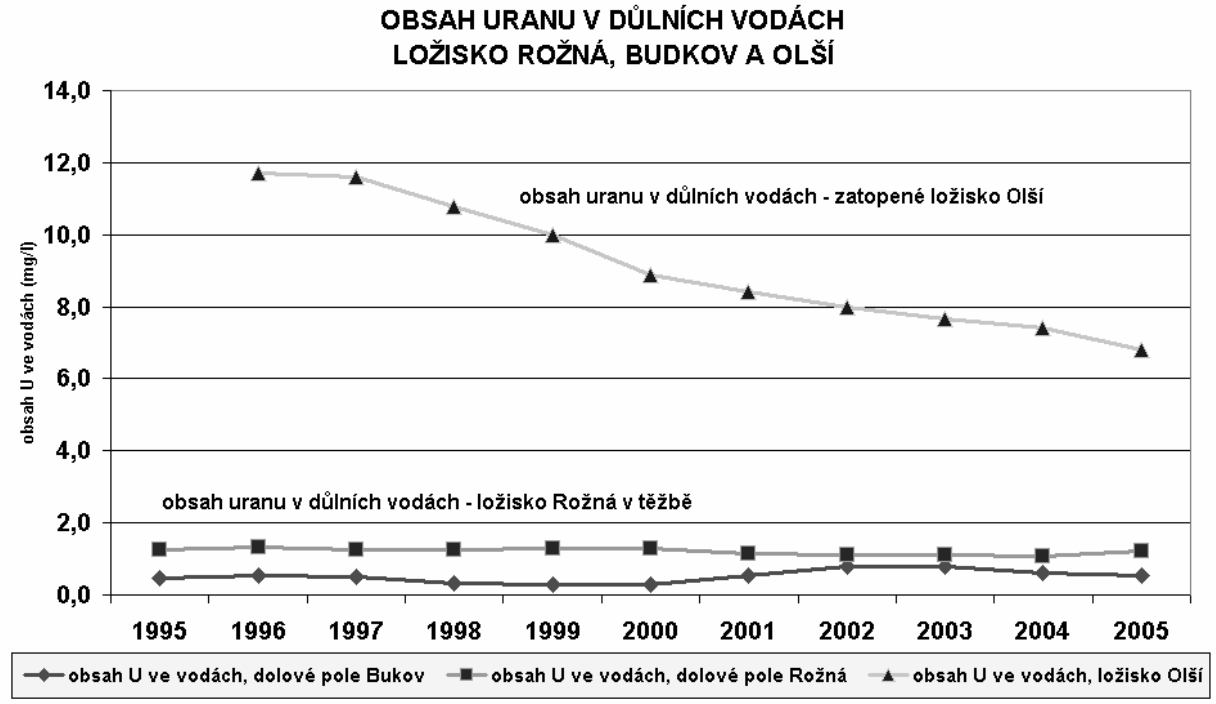
Důlní vody zatopených bývalých uranových dolů představují, vzhledem k jejich značným objemům, významný druhotný zdroj uranu. Vzhledem k vysoké koncentraci rozpuštěných látek v důlní vodě na některých ložiscích uranových dolů je nutné zamezit jejich neřízenému výtoku na povrch a nadbilanční vodu vyváděnou ze zatopených dolů před vypouštěním do vodotečí čistit a kontaminanty zachycovat. Řešení uplatňované na jednotlivých ložiscích však vychází i z požadavku, aby ze zatopeného dolu byly vyváděny důlní vody s minimálními obsahy rozpuštěných látek, tj. aby čištění vod bylo co nejjednodušší. To však představuje provozování čištění důlních vod po dobu více jak 30 – 40 let.

Myšlenka netradičního využití důlních vod opuštěných a zatopených uranových dolů jako druhotného zdroje uranu je založena na samovolném přírodním procesu rozpouštění uranových minerálů v důlních vodách po předchozí oxidaci v etapě exploatace ložiska. Je do jistého stupně v principu analogií těžební metody tzv. „loužením“, ale s tím, že proces přestupu uranu do roztoku nebude intenzifikován zaváděním kyselin do horninového prostředí (těžba loužením na ložisku Stráž p. Ralskem), ale bude využíváno přirozených procesů přestupu uranových solí do roztoku důlní vody.

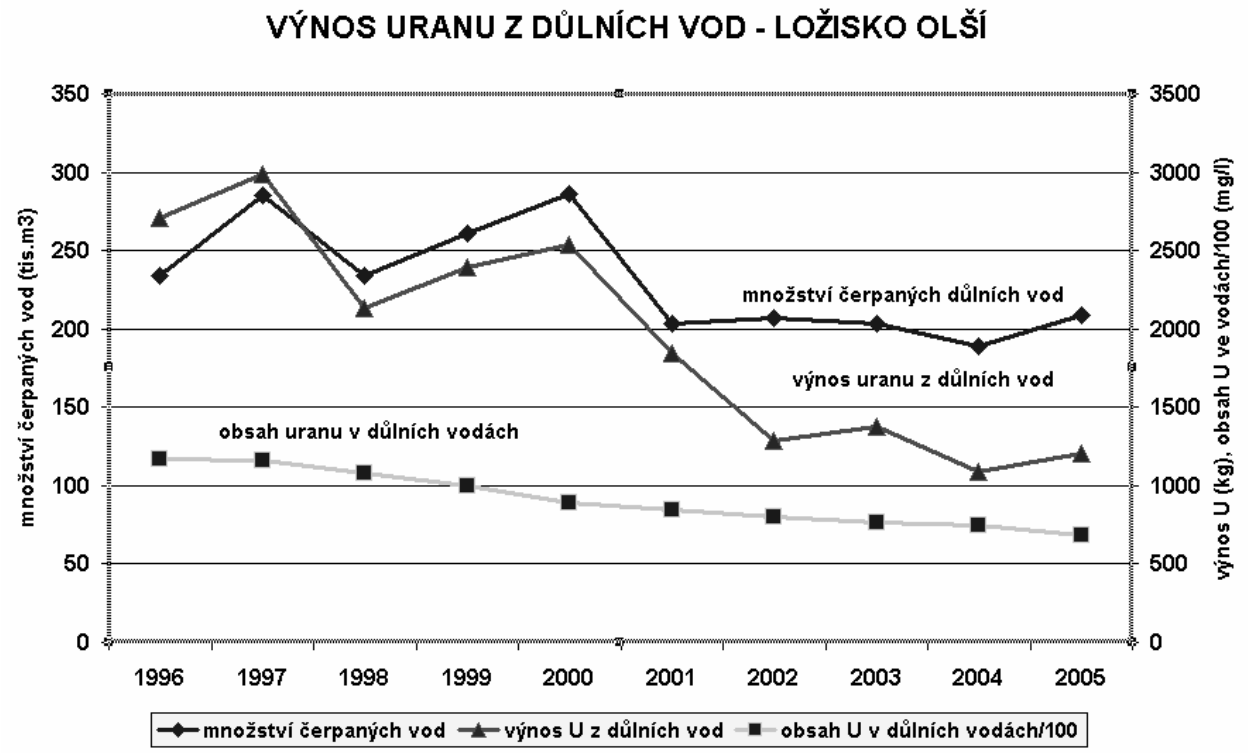
Po likvidaci dolu se s postupem zatápění koncentrace uranu ve vodách výrazně zvyšuje. V čase se pak vytváří výrazná vertikální stratifikace důlních vod podmíněná zejména minimalizací jejich proudění po zániku hydraulického spádu, vyvolaného původně aktivním odvodňování dolu. Tyto zákonitosti jsou známy prakticky ze všech hlubinných dolů – ať již rudných, uhelných, méně pak nerudních surovin (Michálek et al., 2004, 2005).

Jako ukázku situace na lokalitě uvádíme grafy (obr. 2 a 3) (Michálek et al., 2006):

- obsahy uranu v důlních vodách na ložisku Rožná (v těžbě) a Olší (ukončená těžba, zatopené), ze kterého je patrný jednak nízký obsah U v důlních vodách na dolech s režimem aktivního odvodňování a zvýšený obsah ve strukturách kvazistagnujících geohydrodynamických systémů. V případě ložiska Olší je i dobře patrné „promývání“ nevyšší (přípovrchové) zvodněné úrovně zatopených stařin dolu v důsledku odčerpáními vod na čistící stanici,
- výnos U z důlních vod na ložisku Olší ve vztahu k množství čerpaných důlních vod a jejich kvalitě (hmotnostní koncentrace U).



Obr. 2: Obsah uranu v důlních vodách – ložisko Rožná (v těžbě) a Olší
Fig. 2: Uranium content in mine waters – the deposits of Rožná (under exploitation) and Olší

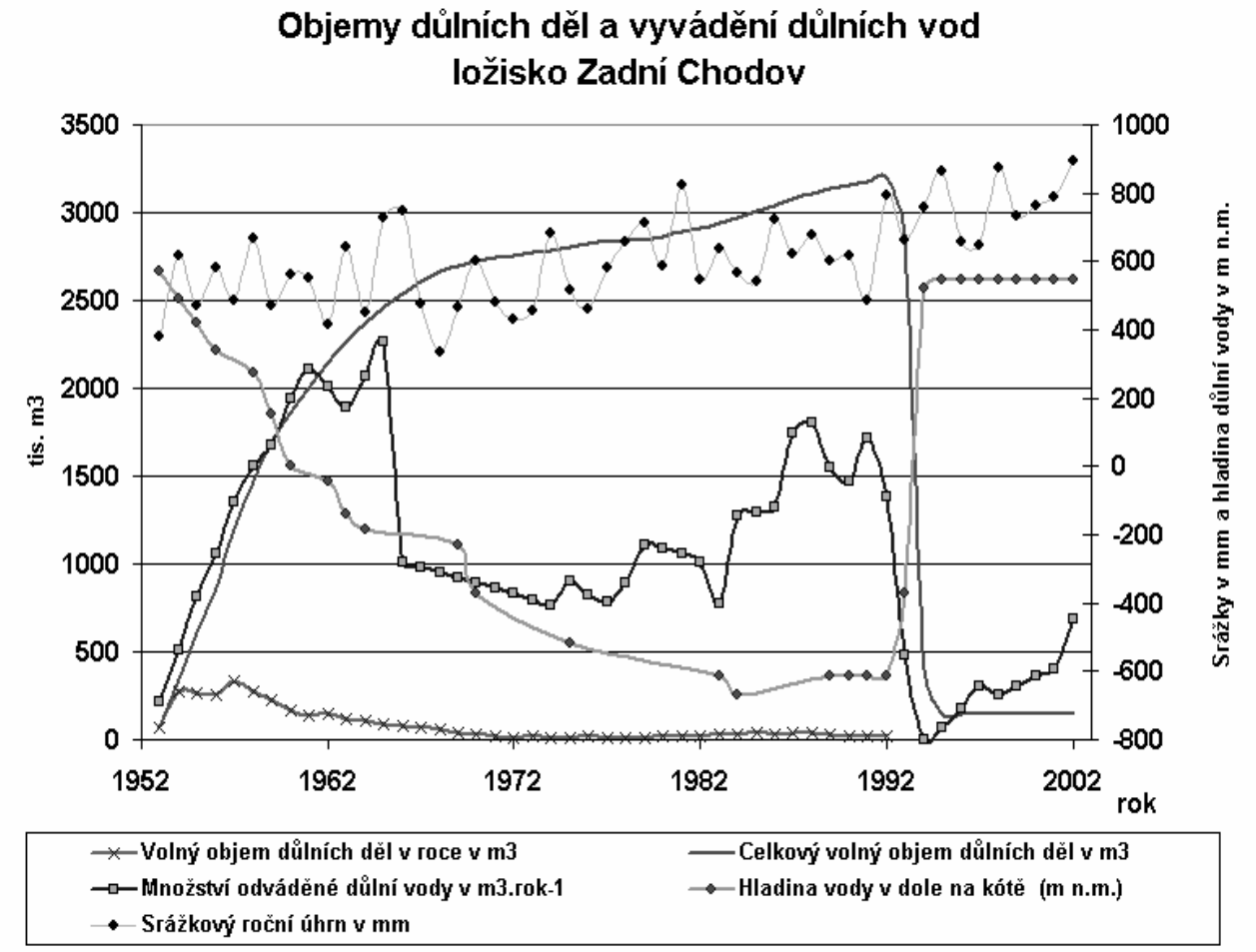


Obr. 3: Výnos uranu při čištění důlních vod – zatopené ložisko Olší-Drahonín
Fig. 3: Yield of uranium at the purification of mine waters – the flooded deposit of Olší

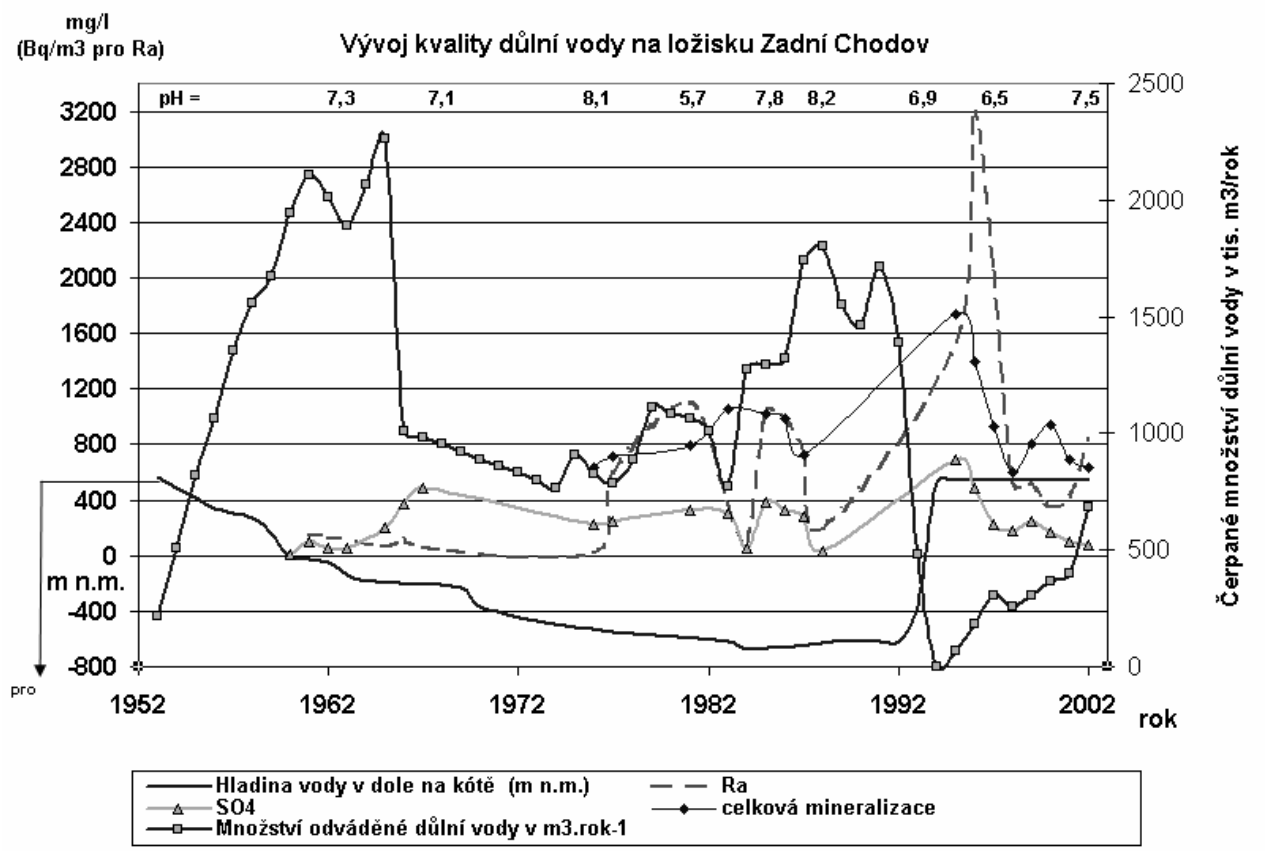
Na uvedených grafech je klesající trend obsahu U v důlních vodách zcela zákonitý, protože se jedná o odvodňování ložiska pouze ve svrchní části zvodně (mělký oběh), kde se silně projevuje podíl infiltrovaných vod z atmosférických srážek (resp. infiltrací z povrchových vodotečí). Nejedná se tedy o reprezentativní trend obsahu U v celkové zvodni akumulovaných vod ve starých důlních dílech. Ten má naopak zákonitě trend rostoucí. V rámci řešeného problému je našim zájmovým prostředím právě hlubší oběh vod.

V hlubších horizontech bývalého dolu jsou koncentrace uranu výrazně vyšší než v přípovrchových částech dolu. Z hlediska čištění vyváděných vod je jednoznačný požadavek na vyvádění vod přípor-chových, tj. vod s minimálními obsahy rozpuštěných látek; z hlediska maximalizace výnosu uranu z důlních vod by naopak bylo žádoucí vyvádět vody s vysokými koncentracemi uranu, tj. z hlubších částí dolu.

Typický režim otevíraného, těženého a likvidovaného uranového ložiska představují následující dva grafy (obr. 4 a 5) z ložiska Zadní Chodov (Michálek et al., 2006):



Obr. 4: Objemy důlních děl a vyváděných důlních vod – ložisko Zadní Chodov
Fig. 4: Volumes of mine workings and drained mine waters – the deposit of Zadní Chodov



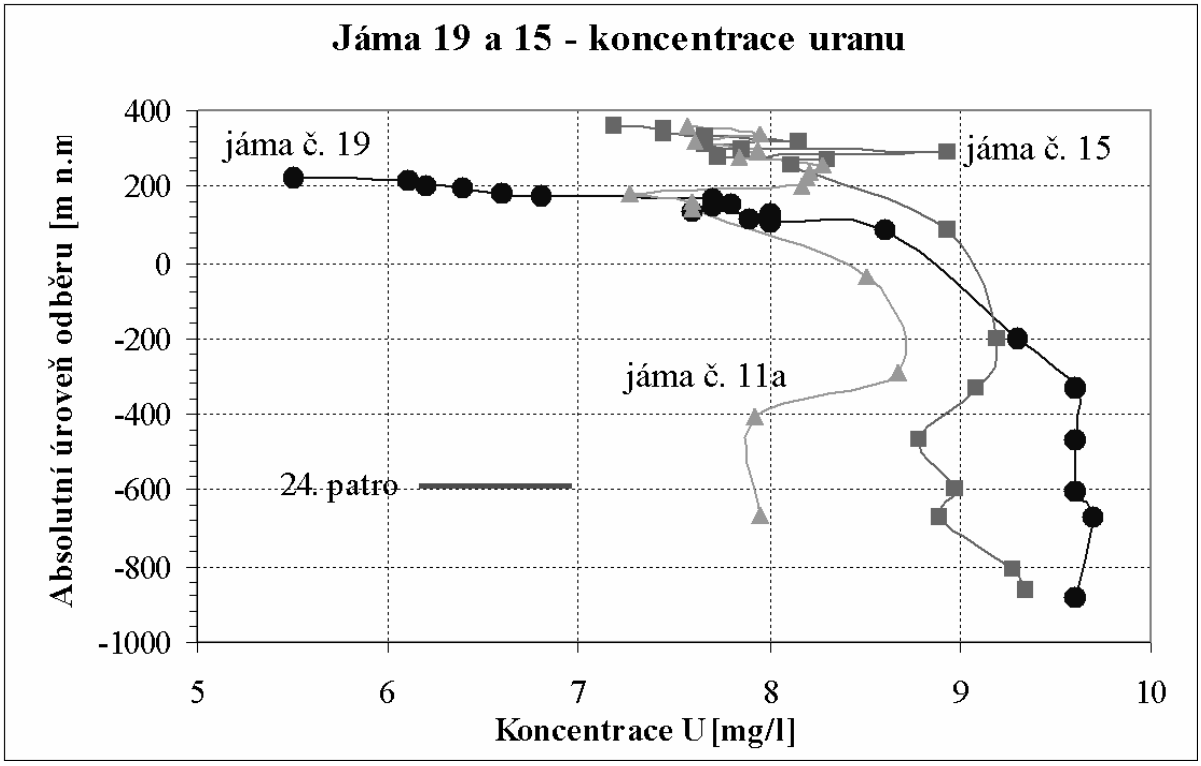
Obr. 5: Vývoj chemismu důlních vod – ložisko Zadní Chodov
Fig. 5: Development in mine water chemism – the deposit of Zadní Chodov

Z grafů je zřejmé, že na hydrogeologický režim ložiska má vedle zdrojů důlních vod podstatný vliv zejména dynamika důlních vod. Ve kvazistagnujícím režimu dochází k nárůstu celkové mineralizace, dochází k vytváření vertikální hydrogeochemické stratifikace v zatopeném dole (přičemž změny v pH jsou nevýrazné). Stratifikaci důlních vod se podařilo velmi zřetelně zaznamenat na ložisku Příbram (Kalous et al., 2004, Lusk, 2006), ukázka je na obr. 6 a 7.

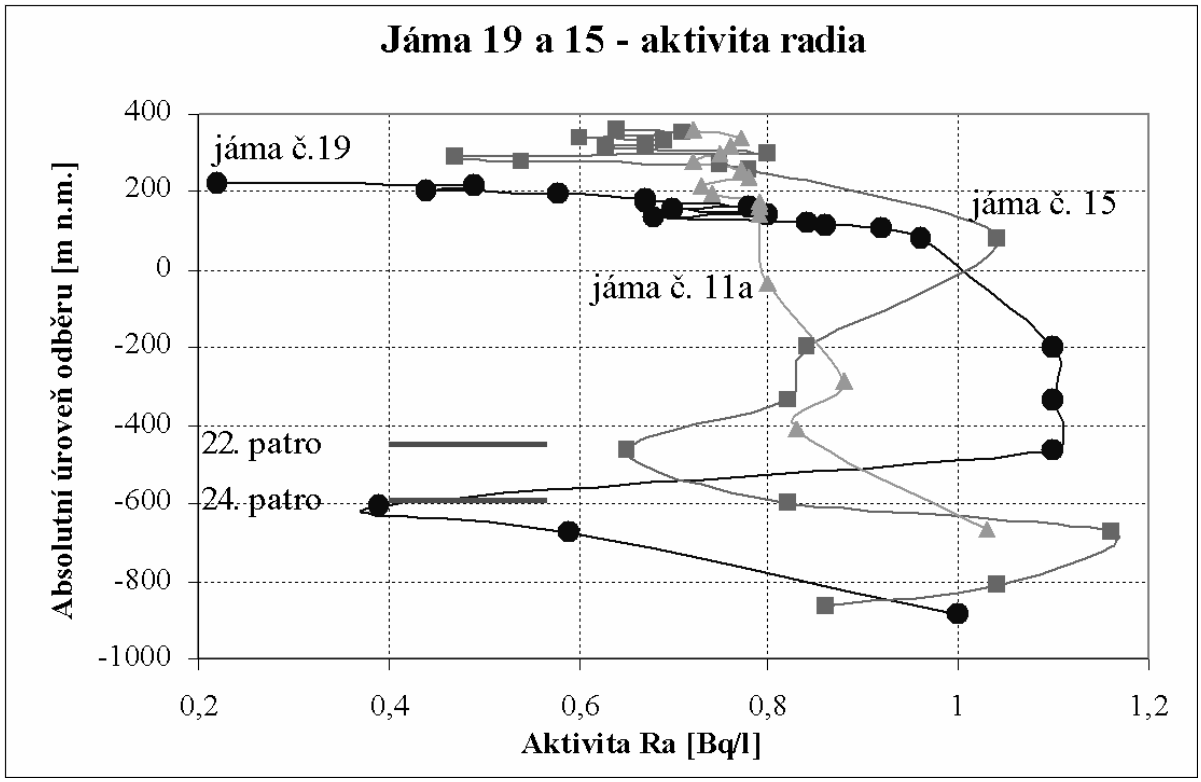
HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY LOŽISKA OLŠÍ-DRAHONÍN

Jako typová lokalita byla vybrána lokalita ložiska Olší–Drahonín u Dolní Rožínky, v jihovýchodní části Českomoravské vrchoviny na rozhraní geomorfologických podcelků Bítešské a Nedvědické vrchoviny. Zvolena byla z toho důvodu, že bývalý hlubinný důl je jednak v blízkém dosahu aktivního dobývacího prostru Rožná (náklady na technické práce a monitoring), jednak je nutno z výše uvedených důvodů udržovat hladinu důlních vod pod úrovní možných neřízených výronů do přípovrchové zóny a povrchových vodotečí a v neposlední řadě i z důvodu zvýšených obsahů U v čerpaných důlních vodách bývalého dolu. Na lokalitě je velmi dobře dokumentován jak hydrogeochemický režim důlních vod, tak i postup hornických prací a odvodňování dolu, dokumentována geologická stavba ložiska, hydrologie a hydrogeologie oblasti i dolu.

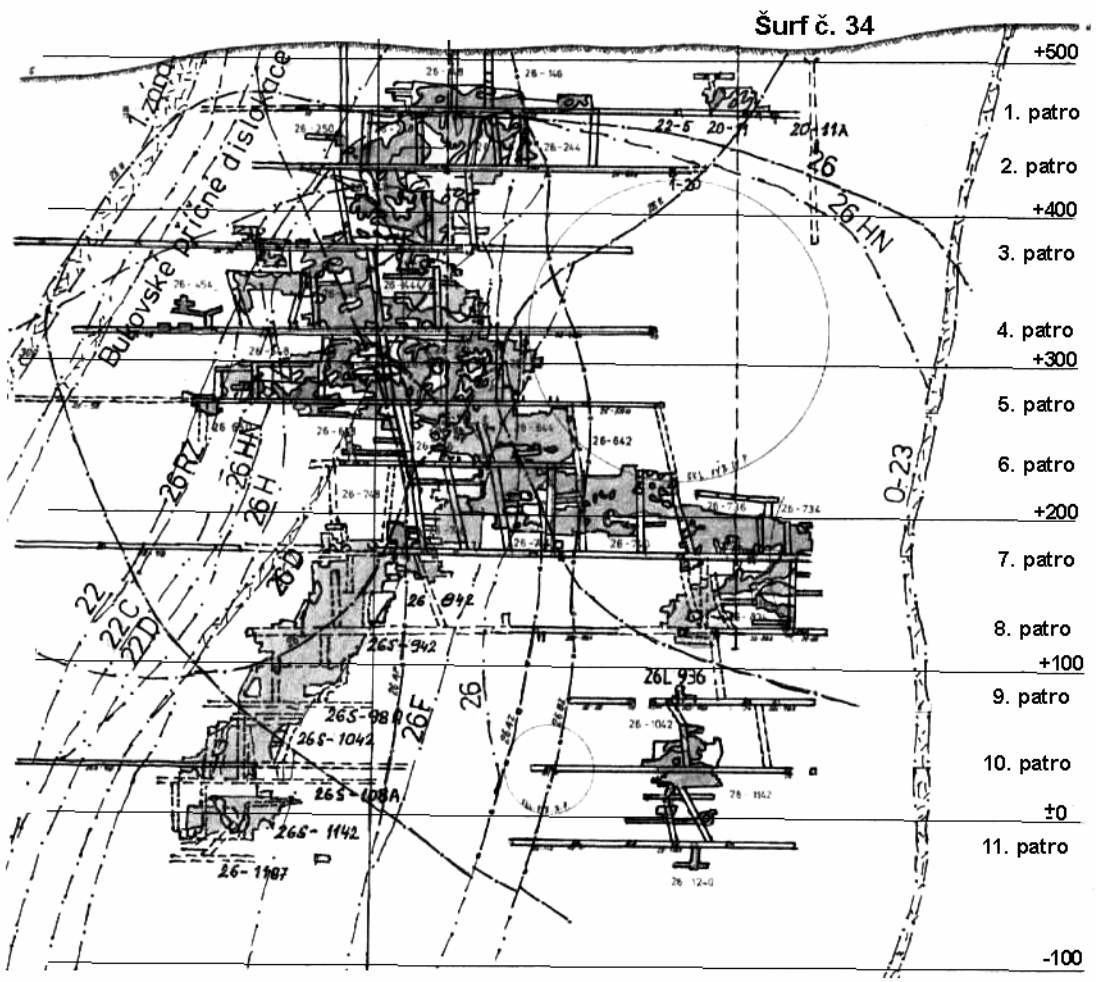
Ložisko Olší (obr. 8) se dobývalo v letech 1959 – 1989. V době ukončení exploatace ložiska dosahovaly dobývací práce hloubky pod 10. patro (+ 18 m n. m.) a otevření ložiska slepými jámami po 18. patro (– 374 m p. m.). Zatápění ložiska od 10. patra výše probíhalo v letech 1990 až 1996. V lednu 1996 byl zahájen provoz dekontaminační stanice. Přirozený odtok z ložiska po zatopení je v nadmořské výšce + 451,3 m n. m. a je dán místem průstřelu odvodňovací štoly do komína VK3/0-3, situovaného v jižní části ložiska Olší u haldy Drahonín (Michálek et al., 2006).



Obr. 6: Vertikální stratifikace důlních vod – ložisko Příbram – jámy č. 19 a 15; obsah U)
Fig. 6: Vertical stratification of mine waters – the deposit of Příbram – mine shafts No. 19 and 15 (U content)



Obr. 7: Vertikální stratifikace důlních vod ložisko Příbram – jámy č. 19 a 15; obsah Ra)
Fig. 7: Vertical stratification of mine waters – the deposit of Příbram – mine shafts No. 19 and 15 (Ra content)



Obr. 8: Podélný řez ložiskem (S-J) v oblasti šurfu č. 34 (archiv DIAMO s.p., o.z. Geam Dolní Rožínka)
Fig. 8: Vertical profile of the deposit (N-S) in the section of the trial pit No. 34 (archives of DIAMO, state enterprise, Geam branch plant)

Ložisko Olší se nachází v komplexu metaforfovaných sedimentárně-efuzivních hornin prekambrického stáří, které se řadí k východní větvi stráženeckého moldanubika. Horniny jsou zvrásněny do protáhlých izoklinálních vrás, překocených k východu (směru S-J). Uranové zrudnění variského stáří se vyskytuje ve velkých rudních tělesech a je tvořeno převážně mineralizací disperzního (rozptýleného) charakteru. Směrná délka žil, které jsou zpeřenými dislokacemi hlavních zón, je maximálně 3 km. Jejich mocnost dosahuje cca 2,5 m. Ložisko je hydrotermálního původu (nízkoteplotní). Minerální složení uranové mineralizace je coffinit a uraninit. Celkové množství vydobyté rudy bylo 2883 tis. t; průměrný těžený obsah v rudě 0,101 % a celkový objem vytěženého U byl 2916 t.

Ložisko Olší je z větší části odvodňováno potokem Hadůvkou do řeky Loučky (Bobrůvky). Severní část je odvodňována potokem Teplá do řeky Nedvědičky. Údolí řek Nedvědičky a Loučky která odvodňují ložisko Olší, jsou v těchto místech hluboce zařezaná do pevných krystalinických hornin.

Zvětralinový pokryv ložiska malé mocnosti (2 – 4 m) je tvořen hlavně jílovito-písčitými hlínami s nízkou propustností, která kolísá v závislosti na petrografickém složení původních hornin. Území mimo údolí potoků a údolní nivy je v povrchových partiích hornin rozpukané (cca do hloubky 20 m) a z hydrogeologického hlediska vytváří klasický puklinový kolektor. V místech vývoje hadcových těles je rozpukání až do hloubky 30 m. V místech, kde protékají potoky, jsou vyvinuty údolní nivy, které jsou tvořeny málo vytříděnými potočními sedimenty. Hloubka údolních nivních sedimentů dosahuje až 20 m. Jejich charakter a rozvrstvení sedimentů je dáno bystřinným charakterem toků. Převážně tyto nivy jsou hluboké několik metrů, jsou v nich vyvinuty štěrkové horizonty a jsou velmi dobře propustné.

KONCEPČNÍ MODEL VYUŽITÍ DŮLNÍCH VOD ZATOPENÝCH HLUBINNÝCH URANOVÝCH DOLŮ JAKO ZDROJE URANU

Pro modelové řešení proudění podzemních a důlních vod v ložisku bylo přijato následující koncepční schéma (Michálek et al., 2006):

Vlastní horniny ložiska, tektonické zóny a žíly jsou velmi málo propustné, až nepropustné (koeficient hydraulické vodivosti K ≈ $0{,}5 \cdot 10^{-9}$ až $0{,}5 \cdot 10^{-11}$ m.s^{-1}, Michálek et al., 2006). Příčné tektonické poruchy v biotitických rulách jsou polopropustné (zóny porušení jsou doprovázeny vznikem jílových minerálů – především rozkladem biotitu). Jiná situace je však v místech, kde tektonické poruchy prochází syenity a tak zvanými červenými ortorulami. V dislokacích se nevytváří jílové minerály, tektonické poruchy jsou velmi dobře propustné až propustné (výplně jsou tvořeny především pískem složeným z křemene a živců).

Mateřské horniny v oblasti ložiska Olší mají puklinovou propustnost, s podstatně živějším oběhem podzemní vody v přípovrchové zóně. Hladina podzemní vody v přípovrchové zóně je převážně volná a sleduje téměř konformně morfologii terénu. Směr proudění podzemních vod v této přípovrchové zóně je závislý na orientaci puklin v horninovém prostředí, morfologii území a na pozici místní erozní báze. Infiltrace srážek je možná prakticky na celém povrchu, je však závislá na míře propustnosti kvartérního pokryvu, tvořeného zvětralinovým pláštěm. Mělký oběh podzemních vod se odvodňuje zastřenými výrony do povrchových toků, nebo omezeně v suťových nebo puklinových pramenech.

Tab. 1: Koncepční schéma pro model pokryvu ložiska Olší-Drahonín
Tab. 1: Conceptual diagram of the overburden model of the deposit Olší-Drahonín

Typ hornin mocnost		zóny a charakteristika pokryvu		
ruly, amfibolity	serpentinity			
1,5 m	až 2,5 m	I. zóna	nezpevněné eluviálních a aluviálních sedimenty	dobře propustné
3 – 5 m	až 7 m	II. zóna	zóna intenzivního vlivu hypergenních činitelů	vertikální průsak
15 – 20 m	až 30 m	III. zóna	zóna vlivu hypergenních činitelů	horizont. proudění podzemních vod
		IV. zóna	zóna primárních hornin	nepropustné

Hlubší oběh podzemních vod je vázán na tektonické zóny a žilné struktury. Hlubší puklinový oběh podzemních vod je intenzivnější v křehkých, snadněji rozpukaných horninách – v pegmatitech, migmatitizovaných rulách, syenitech ap. Nižší propustnost mají hadce, biotitické ruly a amfibolity, které i při intenzivním rozpukání mají pukliny zatěsněny jílovými produkty zvětrávání. Se zvyšující se hloubkou se pukliny obecně spínají a tím se propustnost horninového prostředí velmi podstatně snižuje. Hlubší a hluboký oběh vody je omezen zhruba do hloubky 500 m. Pod touto úrovní je již oběh podzemních vod značně omezen (na ložisku Olší byly pod úrovní 10. patra přítoky již minimální).

V období těžby byly důlní vody směsnými vodami z následujících zdrojů:

- vody povrchové, infiltrující z atmosférických srážek, omezeně pak povrchových vodotečí, po prioritních cestách do důlních děl na nejvyšších patrech dolu,
- vody přírodních zdrojů, většinou vody s omezenou vodní výměnou se zemským povrchem, prostupující zlomovo-puklinovými systémy do důlních děl v důsledku antropogenního zásahu (umělé snížení odvodňovací báze odvodňováním důlních děl),
- vody provozní, minimální podíl v důlních vodách ložiska Olší, obvykle užitkové vody prosté, typu vod mělce povrchových,
- ostatní zdroje důlních vod (technologické kapaliny a pod.).

Vodní bilance ložiska bude řešena matematickým modelováním jednotlivých složek vodní bilance. Jelikož komplexní hydrologické modely jsou v současnosti ve fázi výzkumné a vývojové, praktické aplikace spočívají ve využití separátních modelů, jež jsou vzájemně propojeny prostřednictvím okrajových podmínek. Předpokládáme využití srážkoodtokového modelu HEC-HMS v rámci prostředí WMS (Watershed Modelling System), pro simulaci infiltračního využití srážek programu HELP v prostředí UNSAT Suite a pro simulaci základního odtoku v mělké přípovrchové zóně programu MODFLOW v prostředí GMS (Groundwater Modelling System).

Monitoring kvality důlních vod ložiska Olší-Drahonín byl dán báňským předpisem a místa vzorkování byla v době těžby na jamách 0-1 (Olší) a 0-4 (Drahonín). Jednalo se smíšené Ca-(Mg)-SO_4-HCO_3 typu s teplotou cca 8 až 10 °C (v závislosti na ročním období, vzdálenosti od jámy a hloubce pod povrchem) (tab. 2, tab. 3).

Tab. 2: Chemické složení důlních vod exploatovaného ložiska Olší-Drahonín do roku 1989
Tab. 2: Chemistry of mine waters from the exploited deposit of Olší-Drahonín by the year 1989

		Jáma Olší	Jáma Drahonín
pH	--	6,5 – 6,9	6,5 – 6,8
odparek 105 °C	$mg \cdot l^{-1}$	750 – 960	740 – 1050
Ca^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	29,5 – 169,6	22,4 – 226,4
Mg^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	18,4 – 78,2	26,5 – 96,6
Fe^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	2,2 – 4,8	0,2 – 3,0
Cl^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	18,7 – 46,3	15,9 – 36,5
SO_4^{2-}	$mg \cdot l^{-1}$	338,2 – 1152	126,7 – 1388,4
NO_3^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	1,96 – 92,5	1,96 – 105,3
CO_3^{2-}	$mg \cdot l^{-1}$	38,6 – 114	49,1 – 110,2
HCO_3^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	115,9 – 170,9	128,1 – 347,8
O_2	$mg \cdot l^{-1}$	5,3 – 11,8	5,2 – 12,2
U	$mg \cdot l^{-1}$	0 – 4,46	0 – 2,45
Ra^{226}	$Bq \cdot m^{-3}$	0 – 1150	0 – 860

Tab. 3: Chemické složení důlních vod vstupujících ze zatopeného ložiska Olší–Drahonín na dekontaminační stanici Drahonín (1996 – 2006) – (* výsledky pouze z jednoho vzorku)
Tab. 3: Chemistry of mine waters drained from the flooded deposit of Olší-Drahonín into purification plant (1996 –2006) – (* results only from one sample)

		dekontaminační stanice Drahonín	
		min – max	průměr
pH	--	6,10 – 7,52	6,92
RL	$mg \cdot l^{-1}$	1781 – 3662	2728,9
NL	$mg \cdot l^{-1}$	4,25 – 69	18,5
Ca^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	350*	-
Mn^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	1,43 – 8,71	4,55
Fe^{2+}	$mg \cdot l^{-1}$	6,33 – 38,85	17,79
Cl^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	27*	-
SO_4^{2-}	$mg \cdot l^{-1}$	871,1 – 1843,9	1390,64
NO_3^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	1 – 12	4,37
NO_2^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	0,01 – 0,24	0,05
NH_4^{+} $N\text{-}NH_4^{+}$	$mg \cdot l^{-1}$	0,13 – 14,3 0,09 – 2,62	3,81 0,98
HCO_3^{-}	$mg \cdot l^{-1}$	560*	-
U	$mg \cdot l^{-1}$	5,26 – 13,1	9,20
Ra^{226}	$Bq \cdot m^{-3}$	110 – 2700	1225,1

Modelové řešení možností ovlivnění geochemických reakcí v zatopeném ložisku Olší-Drahonín, řešení advekce v důlních dílech a transportu uranu v důlních vodách bude využívat programových nástrojů Geochemist´s Workbench (Bethke, 2005a, b, c), FEFLOW a MT3D i RT3D v rámci prostředí GMS (Groundwater Modeling System). Cílem je:

- řízené zvýraznění ovlivňování přirozené vertikální zonálnosti důlních vod v hlubokých částech ložiska s možností intenzivního využití důlních vod zatopených důlních děl jako zdroje uranu (ovlivnění přírodního procesu rozpouštění uranových minerálů v důlních vodách po předchozí oxidaci v etapě exploatace ložiska),
- řízené geochemické reakce na výstupních cestách pro čerpání nadbilančních důlních vod tak, aby efektem bylo snížení stupně kontaminace

- a tím zkrácení nutné doby pro čištění vypouštěných důlních vod do veřejné vodoteče.

Výše uvedenými postupy a prostředky budou hodnocena další vybraná endogenní ložiska v oblastech Příbram a západní Čechy. Budou vytipovány takové potenciální lokality, které umožní:

- řízené geochemické ovlivnění důlních vod s cílem zjištění hloubkové úrovně maximálních (optimálních pro využití) obsahů uranu v důlních vodách,
- úpravy stávajícího nebo návrh nového efektivnějšího technického řešení vyvádění důlních vod s vysokými obsahy uranu,
- úpravy v čištění důlních vod s cílem získání maximálních výnosů uranu při dodržení všech stanovených limitů pro ochranu životního prostředí (včetně posouzení ekonomických dopadů realizace projektu).

Práce je součástí řešení grantu GAČR č 105/06/0127 „Netradiční využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby“ (Rapantová et al., 2006).

LITERATURA

Bethke, C. M. 2005a: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. GWB esentials guide. University of Illinois, 76 p.

Bethke, C. M. 2005b: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. Reaction modeling guide. University of Illinois, 74 p.

Bethke ,C. M. 2005c: The Geochemist's Workbench® Release 6.0. Reference manual. University of Illinois, 241 p.

Grmela, A. 1998: Problém individuálních časoprostorových přístupů k monitoringu kvality důlních vod a jejich vliv na reprezentativnost výsledných informací. Odborný seminář „Monitoring geofaktorů životního prostředí“, EKOMONITOR s.r.o. Chrudim. 11.–12.11.1998, Seč u Chrudimi.

Grmela, A., Rapantová, N. 2006: Specifika hydrogeologického režimu ložisek v období těžby a po jejím ukončení. Konference „Těžba a její dopady na životní prostředí“ , Lísek - Skalský dvůr 22. – 23. 3. 2006. Vodní zdroje Ekomonitor s r.o., Chrudim. 32–38.

Grmela, A., Rapantová, N., Tabášek, R., Jelínek, P. 2005: Dopady ukončení těžby na hydrochemické změny důlních vod čerpaných z vodní jámy Žofie v OKR. Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, r. LI – 2005, řada H-G, Monografie 15, Ostrava. 367-372.

Grmela, A., Rapantová, N., Younis, J.H. 1997: Water Balance of Coal Mines and its Determination under the Conditions of Humid Climate of Central Europe. First Mining Conference in the Great Jamahiriya, Tripoli, Al-Fateh Univrsity, March 17-20.

Hájek, A. a kol. 2003, 2006: Analýza zaplavování uranových dolů v České republice. Archiv DIAMO s. p. MS.

Hudáček, M., Fľaková, R., Ženišová, Z., Drozdová, Z. 2004: Vplyv banskej činnosti na kvalitu podzemných a povrchových vôd v okolí Pezinka. In: Zborník z konferencie Hydrogeochémia '04, VIII. ročník, VŠB-TU Ostrava. 17-20.

Kalous, J., Kopřiva, A., Zeman, J. 2004: Výsledky zonálního monitoringu na lokalitě Příbram – jáma 19. Závěrečná zpráva SEPARA-EKO, spol. s r.o. Brno pro DIAMO s. p., o. z. Správa uranových ložisek Příbram. MS, 1-4+přílohy.

Lusk, K. 2006: Charakteristika důlních vod v ložisku U rud Příbram během jeho zatápění. Konference „Těžba a její dopady na životní prostředí“ , Lísek - Skalský dvůr 22. – 23. 3. 2006. Vodní zdroje Ekomonitor s r.o., Chrudim.

Michálek, B., Hájek, A., Grmela, A. 2005: Closure of Uranium Mines in the Czech Republic Mezinárodní konference MPES 2005 and CAMI 2005. Banff – Kanada.

Michálek, B., Hájek, A., Navrátil, P. 2004: Problematika likvidace uranových dolů v České republice, Časopis Uhlí, rudy, geologický průzkum, r. 52, č. 4/2004, vyd. Zam. svaz důl. a naft. průmyslu, Praha.

Michálek, B., Hájek, A., Zábojník P. 2006: Roční zpráva řešení grantového úkolu - 2006. Podkladový materiál grantu GAČR 105/06/0127 „Netradiční využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby“. Archiv DIAMO s.p., o.z. Geam Dolní Rožínka. 1-23, MS.

Rapantová, N. 1997: Abandoning of Mining Activities – Impact on Groundwater and Surface Water Systems. 6. mezinárodní sympózium „Mine Planning and Equipment Selection“ VŠB-TU Ostrava, sborník ref. , ISBN 9054109157, Ostrava. 941-946.

Rapantová, N., Grmela, A. 2004,): Experience with Coal Mine Closure in the Czech Republic - Mine Water Problems. Mine Water 2004 – Coal Mines Remediation Conference 20.–23.9.2004 Universirty Newcastle, Great Britain.

Rapantová, N., Grmela, A., Michálek, B., Hájek, A., Zábojník, P., Zeman, J. 2006: Netradiční využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby. Projekt GAČR č 105/06/0127 pro 2006 – 2008. VŠB-Technická univerzita Ostrava, HGF, IGI.

Šlesárová, A., Zeman, J., Kušnierová M. 2006: Vývoj kvality banských vôd na ložisku Smolník. Acta Montanistica Slovana, Technická Univerzita v Košiciach (v tisku).

Zeman, J., Kopřiva, A. 2002: Geochemický vývoj vod po uzavření a zatopení dolů. Geochémia 2002, Bratislava. 79-83.

HYDROGEOLOGICAL ASPECTS OF THE CONCEPTUAL MODEL OF UTILISING MINE WATERS FROM FLOODED UNDERGROUND MINES AS A SOURCE OF URANIUM

SUMMARY

For a long time, the Czech Republic held one of the foremost positions in the world in uranium mining (Fig. 1, Michálek et al., 2005). However, since the end of the eighties of last century the production of uranium has been gradually reduced either by exhausting of some deposits or especially by the marked drop in sales resulting from political-economic changes at the turn of the nineties of last century (Michálek et al., 2004). At present, mining operations are only performed in one underground mine in the deposit of Rožná with the planned termination of its mining activity at the end after the year 2010.

In the course of the development and exploitation of particular uranium deposits, the chemistry of mine waters changes depending upon the extent of infiltration area, the total volume of worked-out mineral, its mineralogical composition and also the achieved depth of mining (Fig. 4 and 5). In the course of flooding the underground mine after its closure many important changes occur in the content of dissolved substances in waters that increase several times (uranium, radium, iron, and others – see Fig. 2 and 3). Mine waters of flooded former uranium mines thus represent, with reference to their considerable volumes, a significant source of uranium (Michálek et al., 2006). The increase in the content of solutes in waters is induced either by the total oxidation of rock minerals in the mine space or by the fact that the water comes, in a much higher degree, into contact with the rock, and by a change in the hydrologic regime in the deposit (Fig. 6 and 7, Kalous et al., 2004).

In this way uranium continues to be obtained from closed and flooded uranium mines as an accompanying effect even long after completing the classical exploitation of the deposit (Lusk, 2006). With regard to high concentrations of solutes in the mine water, the water which parameters exceed prescribed values and which is drained from flooded mines must be purified and contaminants retained before discharging into watercourses. However, the solution to a situation in particular deposits is based on the requirement to drain mine waters with the minimum contents of dissolved substances from the flooded mine so that water purification may be as simple as possible. However, this represents the performing of mine water purification probably for more than 30-40 years (Michálek et al., 2005).

In the contribution the authors describe briefly the existing state of closing the underground uranium mines by specific ore districts, inform about used procedures and methods of closure and especially about dealing with water conditions and management of mine waters after mining completion with focus on uranium production as an effect accompanying the purification of mine waters (Fig. 8, Tab.1 to 3).

This paper was prepared within the project GACR 105/06/0127, granted by Grant Agency of the Czech Republic (Non-Traditional Utilisation of Uranium Deposits after Underground Mining Completion) (Rapantová et al., 2006). We are presenting hydrogeological aspects of conceptual model of the mine waters intensive utilisation from flooded uranium mines as a source of uranium with an accompanying effect of shortening the time necessary for the purification of mine waters.