

Těžba radioaktivních surovin jako počátek jaderného palivového cyklu

Bedřich Michálek.¹

Mining of Radioactive Raw Materials as an Origin of the Nuclear Fuel Chain

The mining of radioactive raw materials may be considered as an origin of the nuclear fuel chain and thus determines the amount of radioactive wastes which have to be stored safely in the final stage of the fuel chain. The paper informs about the existing trends in mining of radioactive raw materials in the world, provides an overview of development in mining in the Czech Republic and of possibilities of future exploiting some uranium deposits. It points a possibility of non-traditional obtaining uranium from mine waters from underground uranium mines closed and flooded earlier.

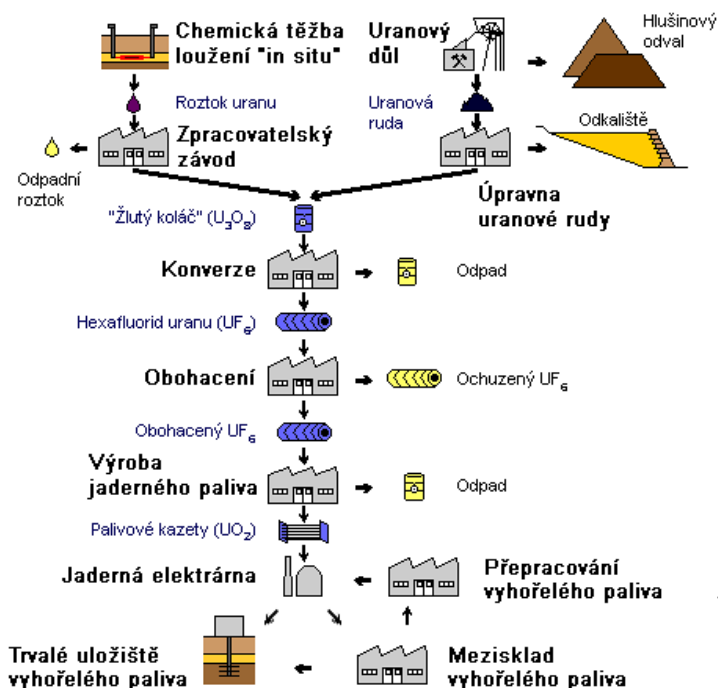
Key words: nuclear power supply, uranium mining, Rožná deposit, mine waters.

Úvod

Jaderná energetika prožívá v současné době svou renesanci a v blízké budoucnosti se stane nepochybně rozhodujícím faktorem hospodářského růstu celé řady zemí. Jaderné elektrárny si udržují svůj podíl na světové produkci elektřiny kolem 16 % od devadesátých let až do nového století. Koncem roku 2004 bylo ve světě v provozu 438 jaderných energetických reaktorů s celkovou kapacitou 364 GWe. Faktorem s narůstajícím významem je zvyšování výrobní kapacity stávajících provozovaných reaktorů pomocí zlepšovacích opatření vůči uvádění nových reaktorů do provozu. Současně bylo ve světě koncem roku 2004 dalších 25 reaktorů ve výstavbě či dočasně odstavených z provozu s úhrnnou kapacitou 26 GWe. Lze očekávat, že tyto jednotky budou uvedeny do provozu během příštích deseti let, čímž částečně nahradí uzavření několika starších (a obvykle menších) reaktorů. Zpráva publikovaná Agenturou pro jadernou energii OECD a Mezinárodní agenturou pro atomovou energii předpovídá, že kolem roku 2025 světová kapacita jaderné energie vzroste ze současných 370 GWe na 450 GWe až 530 GWe. V této souvislosti je potřeba najít odpověď na dvě základní otázky a to, zda budou zajištěny dostatečné zdroje přírodního uranu pro očekávané potřeby jaderných elektráren a jak bude lidstvo nakládat s vyhořelým palivem z jaderných elektráren.

Jaderný palivový cyklus

Palivový cyklus jaderných elektráren je poměrně složitý. Na rozdíl od uhlí, které se po malé úpravě může hned použít k výrobě elektřiny, musí vytěžený uran projít řadou technologických procesů, než je možné ho použít jako paliva v jaderné elektrárně. Přesto jsou palivové náklady jaderné elektrárny nižší než náklady elektrárny spalující fosilní paliva. Je to dáno především vysokým energetickým obsahem uranu. Teoreticky nahradí 1 kg uranu 3 miliony kg černého uhlí, i když v současných typech reaktorů se využijí řádově jen procenta energetického obsahu uranu.

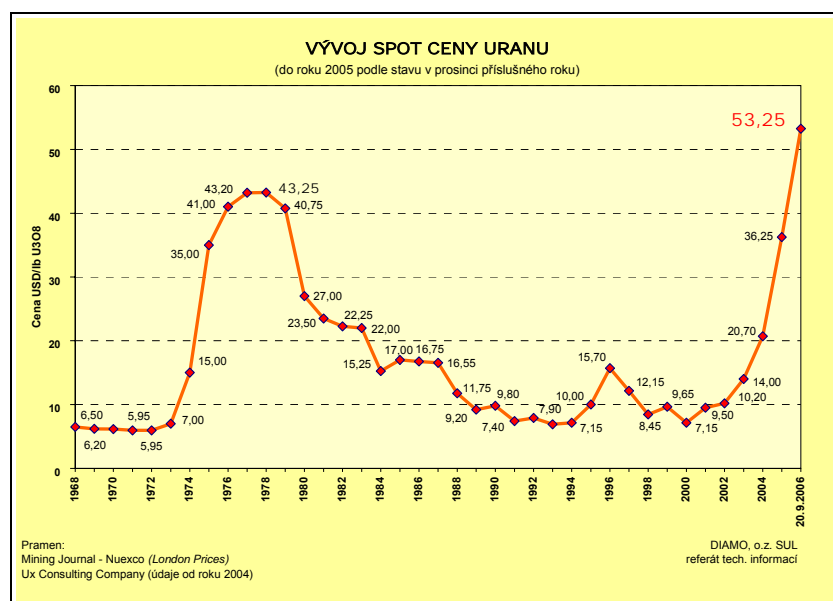


Obr. 1. Schéma jaderného palivového cyklu.
Fig. 1. Scheme of nuclear fuel chain.

¹ Ing. Bedřich Michálek, Ph.D., DIAMO státní podnik, odštěpný závod GEAM, 592 51 Dolní Rožinka, Česká republika. (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 1. 2007)

Přehled těžby uranu ve světě

Již citovaná zpráva Agentury pro jadernou energii OECD a Mezinárodní agentury pro atomovou energii s názvem "Uran 2005 - zásoby, produkce a poptávka" soudí, že světové zásoby uranu "jsou více než přiměřené" pro naplnění plánovaných požadavků. Identifikovaný objem konvenčních zásob uranu, které mohou být těženy za méně než 130 USD/kg právě současné ceny na spot trhu jsou stanoveny na 4,7 milionu tun. Při základu objemu výroby elektřiny z jádra za rok 2004 je tento objem dostačující na 85 let. Avšak zpráva odhaduje celkové světové zásoby uranu na více než 35 milionů tun. Předpokládaný růst výroby energie z jádra však zvýší roční potřebu uranu na objem 80.000 až 100.000 tun vůči 67.450 tunám za rok 2004.



Obr. 2. Vývoj ceny uranu.

Fig. 2. Uranium price development.

Produkce přírodního uranu ve světě za rok 2005 pomalu narůstala a dosáhla objemu cca 41 250 t vůči 40 650 t za rok 2004. Produkce narůstala v Austrálii, Kanadě, Kazachstánu, Namibii, Rusku, USA a Uzbekistánu, mírně poklesla v Nigeru a Jihoafrické republice. Pozoruhodné je, že k malému nárůstu produkce, o necelé 3 % dochází při velkém nárůstu tržních cen. Ty na konci roku 2003 činily 14,00 - 14,50 USD/lb, koncem roku 2004 činily 19,90 - 20,25 USD/lb a koncem roku 2005 pak 34,75 - 36,50 USD/lb, což je růst o 75 % (viz obr. 2). Nová produkce tedy není jen funkcí cen, ale i funkcí času. Největším světovým producentem mezi zeměmi zůstává Kanada s cca 11 600 t uranu, klesá však její podíl ve světové produkci, i když se rozvíjí těžba na dolech McArthur River, Rabbit Lake a McClean Lake. Pokračuje výstavba dolu Cigar Lake. Ke svému konci se blíží těžba na dole Eagle Point. Druhým největším producentem mezi zeměmi je Austrálie, kde pracují doly Ranger a Olympic Dam a provoz loužení in situ Beverley. Rychle roste produkce Kazachstánu na provozech s loužením „in situ“. Ostatní producenti jako Rusko, Namibie, Niger, Uzbekistán, USA a Jihoafrická republika mají malé pohyby. Stabilní zůstává produkce v Číně, Ukrajině, Rumunsku, Pákistánu, Indii a stále ještě v České republice (viz tab. 1).

Dolem s největší produkcí (viz tab. 2) je kanadský důl McArthur River s těžbou 7 200 t uranu za rok 2005. V pořadí další potom jsou australský Ranger a Olympic Dam, ruský Krasnokamensk a namibijský Rössing. Nejpoužívanější technologii je konvenční hlubinná a povrchová těžba s podílem 40%, respektive 27%. Loužení „in situ“ se podílí na světové produkci 21,0 %. Zbytek připadá na produkci uranu jako souběžného a vedlejšího produktu.

Těžba uranu pokrývala v roce 2005 reaktorové požadavky ze 64,9 % (v roce 2004 to bylo 61,4 %, viz obr. 3). Primární produkce uranu v roce 2006 by se měla zvýšit jak na stávajících dolech, tak uváděním nových dolů do provozu (Alta Mesa, Kingsville Dome a Vasquez v USA, různé lokality v Kazachstánu, Langer Heinrich v Namibii, Cigar Lake v Kanadě). V roce 2006 se očekává produkce v objemu 42 300 t uranu.

Tab. 1. Přehled zemí těžících uran.

Tab. 1. Overview of uranium producing countries.

PRODUKCE PŘÍRODNÍHO URANU (tuny U)					
ZEMĚ	2001	2002	2003	2004	2005
KANADA	12 520	11 406	10 457	11 597	11 628
AUSTRÁLIE	7 756	6 854	7 572	8 982	9 522
KAZACHSTÁN	2 050	2 800	3 300	3 719	4 357
NIGER	2 920	3 075	3 143	3 282	3 093
RUSKO	2 500	2 900	3 150	3 200	3 431
NAMIBIE	2 239	2 333	2 036	3 038	3 147
UZBEKISTÁN	1 962	1 860	1 598	2 016	2 300
USA	1 011	919	779	846	1 039
UKRAJINA	750	800	800	800	800
JIŽNÍ AFRIKA	873	824	758	755	674
ČÍNA	655	730	750	750	750
ČESKÁ REPUBLIKA	456	465	452	412	408
BRAZÍLIE	58	270	310	300	0
INDIE	230	230	230	230	230
NĚMECKO	27	212	150	150	77
RUMUNSKO	85	90	90	90	90
PAKISTÁN	46	38	45	45	45
ŠPANĚLSKO	30	37	0	0	0
FRANCIE	195	20	0	7	7
PORTUGALSKO	3	2	0	0	0
CELKEM SVĚT	36 366	35 865	35 620	40 219	41 598

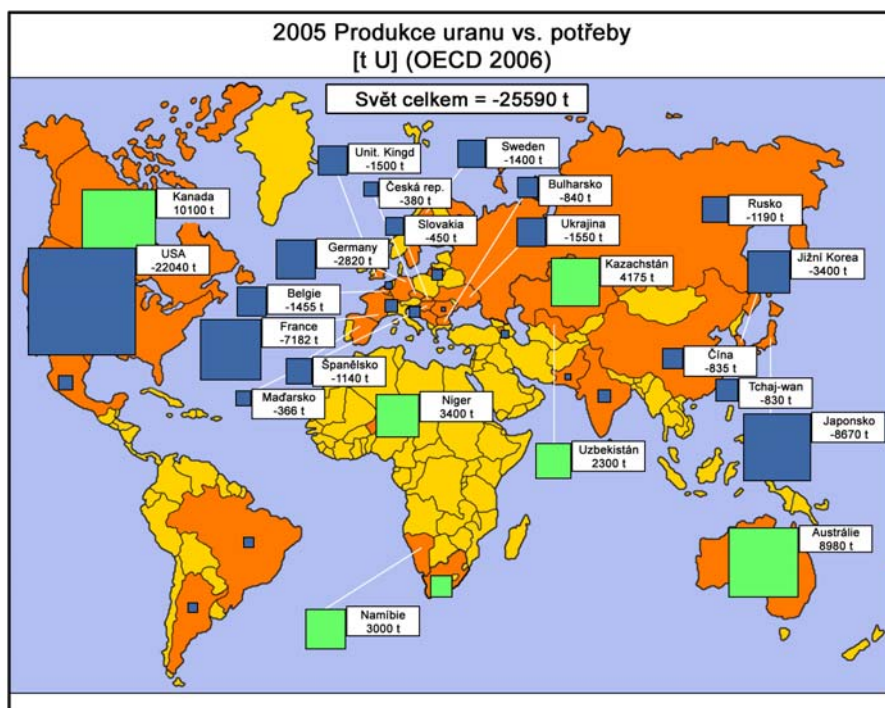
Tab. 2. Uranové doly s nejvyšší těžbou.

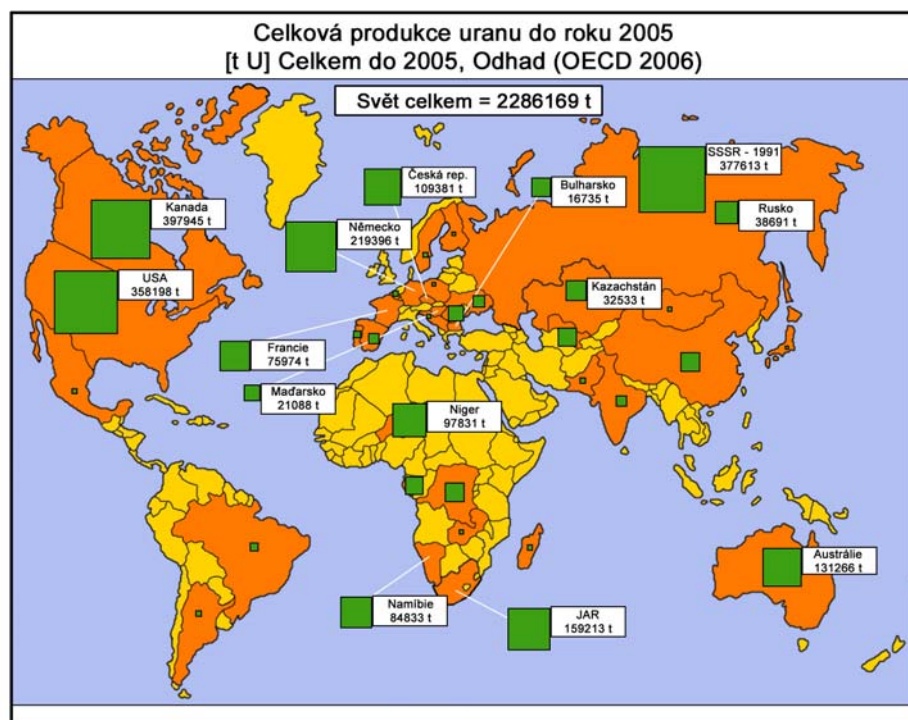
Tab. 2. The largest uranium producing mines.

NEJVĚTŠÍ DOLY Z HLEDISKA PRODUKCE URANU stav 2004/2005					
DŮL	ZEMĚ	VLASTNÍK/SPOLEČNOST	ZPŮSOB TĚŽBY	PRODUKCE (t U)	% SVĚTOVÉ PRODUKCE
McARTHUR RIVER	KANADA	CAMECO	hlubinně	7200 / 7200	17,7 / 17,2
RANGER	AUSTRÁLIE	ERA (RIO TINTO 68%)	povrchově	4753 / 5006	11,7 / 12,0
OLYMPIC DAM	AUSTRÁLIE	WMC(od 2005 BHP BILLITON)	vedlejší produkt/hlubinně	3735 / 3688	9,2 / 8,8
KRASNOKAMENSK	RUSKO	TVEL	hlubinně	3000 / 3300	7,4 / 7,9
RÖSSING	NAMIBIE	RIO TINTO (69%)	povrchově	3038 / 3147	7,5 / 7,5
McCLEAN LAKE	KANADA	COGEMA	povrchově	2310 / 2112	7,9 / 5,0
RABBIT LAKE	KANADA	CAMECO	hlubinně	2087 / 2316	5,1 / 5,5
AKOUTA	NIGER	COGEMA/ONAREN	hlubinně	2005 / 1778	4,9 / 4,2
ARLIT	NIGER	COGEMA/ONAREN	povrchově	1277 / 1315	3,1 / 3,1
BEVERLY	AUSTRÁLIE	HEATHGATE	loužení in situ	919 / 828	2,2 / 2,1
VAAL RIVER	JIŽNÍ AFRIKA	ANGLOGOLD	vedlejší produkt/hlubinně	756 / 674	1,9 / 1,8

Již tři roky se trh jeví stále příznivější pro producenty uranu, ale právě zveřejněné údaje za rok 2005 ukazují, že výroba se rozvíjí pomalu. Investují se miliardy dolarů, ale přibývá málo nových producentů schopných větší produkce v blízké budoucnosti. Bez ohledu na to, zda jejich produkce bude větší či menší, v příštích 7 - 8 letech lze čekat, že na uspokojování větší části poptávky se budou podílet jen tři zdroje: projekty loužení in situ KazAtomPromu v Kazachstánu, doly Cameca a Cogemy v kanadské pánvi Athabasca (především Cigar Lake), avšak ne jen tento důl) a důl Olympic Dam společnosti BHP Billiton v Austrálii.

Obr. 3. Pokrytí reaktorových potřeb těžbou přírodního uranu
Fig. 3. Reactor requirements versus uranium production





Obr. 4. Celková produkce uranu ve světě v období 1945 – 2005.
Fig. 4. Total uranium production in the world in 1945 – 2005.

Těžba uranu v České republice

Uranové hornictví patřilo od roku 1945 až do poloviny 90. let minulého století k významným průmyslovým odvětvím v České republice a v produkci uranového koncentráту zaujímal Česká republika přední místo ve světě (viz obr. 4). Exploatace ložisek uranové rudy byla prováděna velmi intenzivně a to převážně hlubinným způsobem. Od konce 80. let minulého století však docházelo postupně ke snižování těžby uranové rudy jednak z důvodu vyčerpání některých ložisek a zejména pak 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 pro potřeby české energetiky již pouze v jednom hlubinném dole na ložisku Rožná s plánovaným ukončením těžby v roce 2008.

Ložiska uranu a jejich exploatace

Ložiska uranu v České republice se nacházejí v širší geologické soustavě než je vlastní území České republiky, a to v Českém masívu, který představuje denudační trosku variského horstva a jednu z největších uranonosných provincií v Evropě. Uranové zrudnění je v něm zastoupené endogenními i exogenními ložisky, přičemž endogenní ložiska jsou vázána převážně na krystalinické série a granitoidní masívy, mladší exogenní ložiska potom na platformní útvary permokarbonu, křídly a terciéru.

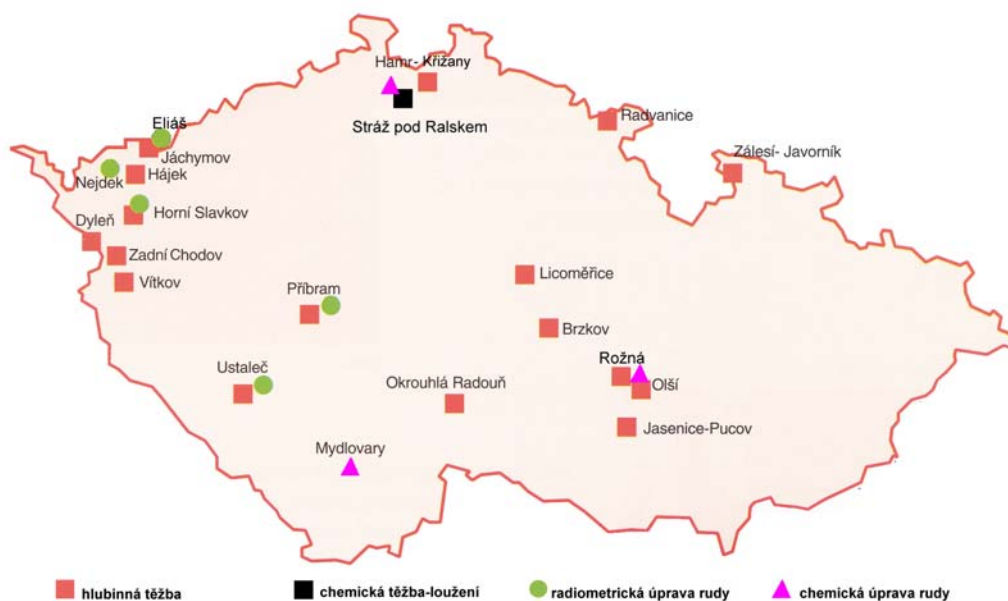
Endogenní ložiska jsou v oblasti Příbram, západní Morava, západní Čechy, Jáchymov a Horní Slavkov. Z hlediska geologické stavby, morfologie rudních těles a ložiskové akumulace rud se jedná o tři geneticky odlišné typy hydrotermálních ložisek:

1. ložiska v tektonických zónách a žilách krystalinických hornin Českého masívu (Rožná, Olší, Zadní Chodov),
2. žíly v horninách geosynklinálního strukturního patra vázané na velké granitoidní masívy (Příbram, Jáchymov, Horní Slavkov),
3. tektonické zóny a žíly ve variských granitoidech (ložisko Vítkov z oblasti západní Čechy).

Exogenní ložiska jsou zastoupena v křídových sedimentech, které jsou reprezentovány v místech uranové mineralizace pískovci a prachovci. Jedná se o subhorizontálně uložená rudní tělesa polygenního typu (infiltrační a hydrotermální) o velké mocnosti. Z exploatovaných ložisek České republiky jsou to ložiska Stráž pod Ralskem a Hamr.

Z hlediska typů ložisek podle systému otvírky, přípravy a dobývání se tedy jedná o dva typy průmyslově využívaných ložisek:

1. rudní tělesa (ložiska) zónového, žilného i metasomatického typu, strmě uložená v pevných horninách s mocností zrudnění převážně 1,5 – 2,0 m, méně často až 10,0 m,
2. rudní tělesa (ložiska) o velké mocnosti (10,0 – 20,0 m) subhorizontálně uložená v pískovcích a prachovcích.



Obr. 5. Hlavní těžební a úpravárenské kapacity uranového hornictví.
Fig. 5. Major localities of uranium mining and treatment.

System otvírky, přípravy a dobývání ložisek uranu

Ložiska lokalizovaná v strmě uložených žilách, zónách a metasomatických tělesech v pevných horninách, byla otevřena svislými jámami a z nich hlavními patrovými překopy ve vertikální vzdálenosti 50 až 80 m. Další průzkum a zároveň detailní otvírka pokračovala směrnými překopy nebo chodbami. Komíny, kterými se připravovaly jednotlivé bloky, byly raženy z rozrážek nebo sledných chodeb. Dobývání bylo vedeno v jednotlivých horizontálních lávkách o výšce 2,5 – 3,0 m při použití těchto dobývacích metod:

- výstupková dobývací metoda se zakládáním vydobytých prostor vlastní, méně často cizí zakládkou,
- výběrová dobývací metoda s ponecháním nevýdobytých celků,
- dobývání na skládku,
- sestupné lávkování na zával pod umělým stropem,
- v metasomatických rudních tělesech ložiska Vítkov bylo také použito dobývání příčnými otevřenými komorami.

Hlubkový rozsah dobývání byl zpravidla od povrchu do hloubky 600 – 700 m. V extrémně velkých hloubkách se dobývalo ložisko Zadní Chodov (1250 m) a zejména Příbram (1550 m), v současné době i ložisko Rožná (1100 m).

Exogenní ložiska Hamr a Křižany, která jsou tvořena velkými rudními tělesy v pískovcích a prachovcích, byla dobývána metodou komora – pilíř (délka komory až 150 m, šířka komory 4 – 5 m) a velmi omezeně metodou stěnování a zátinkování. Vzhledem k tomu, že na těchto ložiscích bylo nutné ochránit povrch a zejména zvodněný turonský horizont v nadloží rudních těles (představuje největší zásobárnu pitné vody v Čechách), byly vydobyté prostory zakládány zpevněnou zakládkou o pevnosti 4 – 10 MPa. Ložisko se nachází v hloubce cca 250 m a bylo otevřeno svislými jamami. Otvírkové překopy byly ve většině případů raženy pod rudními tělesy (celík 15 – 30 m). Z nich byly pro odtěžení vyraženy do příslušných přípravných chodeb, ražených už přímo v rudních tělesech, odtěžovací komíny.

Ložisko Stráž pod Ralskem se dobývalo kyselým loužením uranové rudy z vrťů přímo v rudních tělesech (loužení in situ). Těžba v cenomanských pískovcích na ploše 6,3 km² byla prováděna cca 9300 vrty z povrchu do hloubky přes 200 m. Loužicím médiem byla H₂SO₄ (použito 3,7 mil.t), H₂NO₃ (0,27 mil.t), HCl (0,025 mil.t) a NH₃ (0,1 mil.t). Likvidace kyselých těžebních roztoků čerpáním z horninového prostředí probíhá od roku 1996 a bude trvat ještě desítky let.

Přehled exploatace jednotlivých ložisek

V České republice bylo od roku 1945 vytěženo celkem cca 109 000 tun uranu. Na těžbě se podílelo 6 hlavních těžebních oblastí, malé množství bylo rovněž vytěženo v rámci geologického průzkumu i v jiných regionech. Doba těžby v jednotlivých oblastech a jejich podíl na celkové těžbě je uveden v tab. 3 a celková produkce uranu v letech 1945 – 2005 pak na obr. 6. Uranový průmysl představoval významného zaměstnavatele, maximální počet zaměstnanců činil 48 000 v roce 1953, v 70 a 80 letech minulého století se počet zaměstnanců pohyboval v rozmezí 30 000 – 33 000 včetně všech pomocných činností (geologický průzkum, strojírenská výroba, výzkumná a vývojová pracoviště aj.).

Tab. 3: Přehled exploatace jednotlivých ložisek uranu..

Tab. 3. Overview of exploitation of particular uranium deposits.

těžební oblast	ložiska uranu	doba exploatace	objem těžby % z celkové těžby v ČR
Příbram	Příbram	1949 - 1992	36,5
západní Morava	Rožná, Olší, Zálesí-Javorník, Chotěboř, Slavkovice-Petrovice, Radvanice	1952 - dosud Rožná, ukončení těžby 2008	19,0
severní Čechy	Hamr, Křižany	1974 - 1993	10,4
	Stráž pod Ralskem (loužení in situ)	1969 - 1996 od 1996 získáván uran sanací horninového prostředí	15,1
západní Čechy	Zadní Chodov, Vítkov, Dyleň, Okrouhlá Radouň, Hájek, Ruprechtov	1954 - 1992	9,0
Jáchymov	Jáchymov	1947 - 1962	6,3
Horní Slavkov	Horní Slavkov	1949 - 1963	2,2
geologický průzkum	Jasenice-Pucov, Brzkov, Licoměřice, Ustaleč	1955 - 1990	1,5

Obr. 6. Produkce uranu v České republice v letech 1945 – 2005.

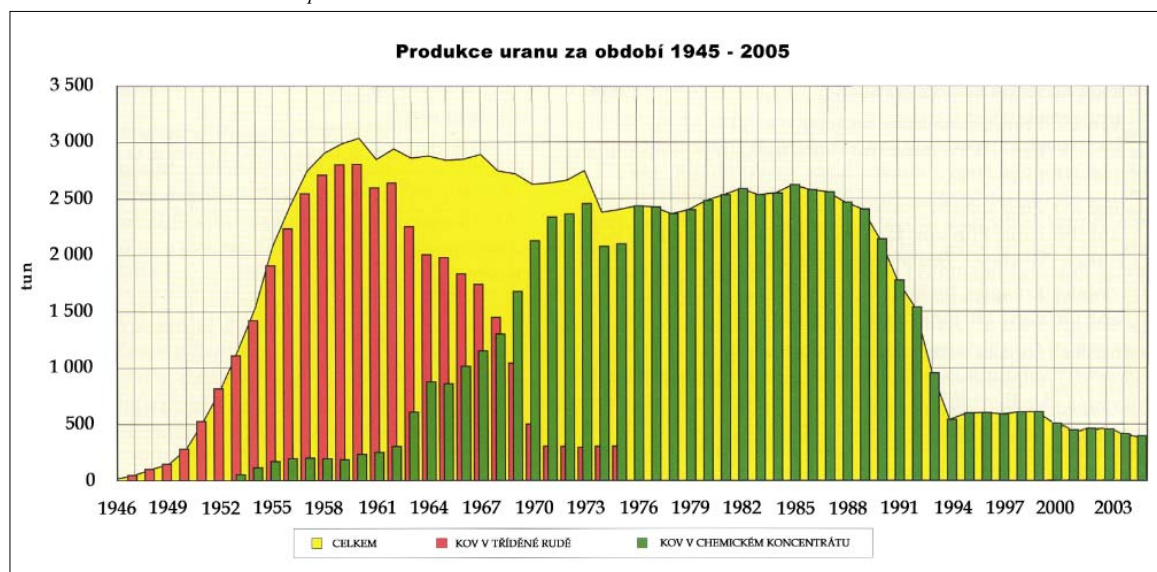


Fig. 6. Uranium production in the Czech Republic in 1945 – 2005.

Uranové ložisko Rožná

Ložisko Rožná bylo nalezeno v roce 1954 automobilním gama průzkumem. Komplexní vyhledávací a průzkumné práce probíhaly od roku 1954 a poté souběžně s exploatací až do roku 1991. Těžba ložiska byla zahájena v roce 1957. Je jediným uranovým ložiskem, kde těžba dosud trvá. Předpokládané ukončení těžby je v roce 2008 a to z důvodu vyčerpání bilančních zásob uranové rudy do hloubkové úrovně 1 200 metrů pod povrchem. I když byly zásoby ověřeny i pod touto hloubkovou úrovní, s jejich těžbou se již neuvažuje. V současné době je těžba prováděna v jednom hlubinném dole, úprava vytěžené rudy na chemické úpravné situované v těsné blízkosti dolu. Uplatňováno je alkalické loužení za atmosférického tlaku při teplotě 80 °C, výtěžnost se pohybuje kolem 95 %. Výsledným produktem úpravy je uranový koncentrát, diuranát amonný $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ tzv. „žlutý koláč“ (yellow cake), který je v konverzních závodech v zahraničí zpracováván

na palivo pro jaderné elektrárny. Organizačně tvoří důl a chemická úpravna odštěpný závod GEAM, který je součástí státního podniku DIAMO.

Geologie ložiska Rožná

Uranové ložisko Rožná je součástí rudního pole Rožná – Olší. Patří mezi hydrotermální nízkoteplotní ložiska vázaná na tektonické zóny a žíly v metamorfovaných horninách Českého masívu. Geomorfologicky je ložisková oblast součástí Českomoravské vrchoviny představující denudační trosku variského horstva. Na ložisku je stanoven dobývací prostor, jehož maximální plošný rozsah byl 11,95 km², v současné době již pouze 8,76 km². Délka zrudnělého úseku ekonomicky využitelných zásob ložiska je cca 8 km. Ložisko se nachází v komplexu metamorfovaných sedimentárně-efuzivních hornin prekambriického stáří. Horninový komplex je tvořen především plagioklas-biotitickými až amfibolickými rulami různého stupně migmatitizace a amfibolity. V menší míře jsou zastoupeny mramory a erlány. Leží v tektonicky výrazném pásmu na východním okraji moldanubika, které je charakteristické intenzivním provrásněním horninového komplexu do protáhlých izoklinálních vrás směru SSV – JJZ a vývojem mohutných tektonických zón hlubokého dosahu. Vrásové struktury jsou dislokovány zlomovými liniemi několika směrů.

Podélné (směrné) dislokace směru 340 – 355° s úklonem 45 – 70° k západu lze z genetického pohledu rozdělit na tektonické zóny a k nim zpeřené dislokace – žíly. Zóny, jejichž směrná délka dosahuje 10 – 12 km, mají převážně mocnost několika metrů, maximálně 25 metrů. Výplň zón tvoří drčená okolní hornina charakteru mylonitu nebo brekcie s výraznou grafitizací. Podíl žilných minerálů (kalcit, grafit, pyrit) činí maximálně 5 – 10 %. Uranové zrudnění v těchto zónách se vyskytuje ve velkých rudních tělesech (plošně až desítky hektarů) a je tvořeno převážně mineralizací disperzního (rozptýleného) charakteru. Směrná délka žil, které jsou zpeřeny dislokacemi hlavních zón, je maximálně 4 – 5 km. Jejich mocnost dosahuje až 2,5 metru a výplň je tvořena drčenou okolní horninou s vyšším podílem žilné výplně. Uranové zrudnění se vyskytuje ve středně velkých rudních tělesech a je většinou kontrastního čočkovitého charakteru.

Hlavními uranovými minerály jsou coffinit a uraninit. Uranová mineralizace je variského stáří. Střední obsah U kovu v těžené rudě z ložiska byl od počátku exploatace 0,114 % (1,14 kg U kovu na tunu rudy). Pevnost v tlaku výplně zón je cca 25 MPa, pevnost okolních hornin je 70 – 120 MPa. Horniny bezprostředního nadloží a podloží zón a žil jsou většinou rozpukány.

Otvírka ložiska

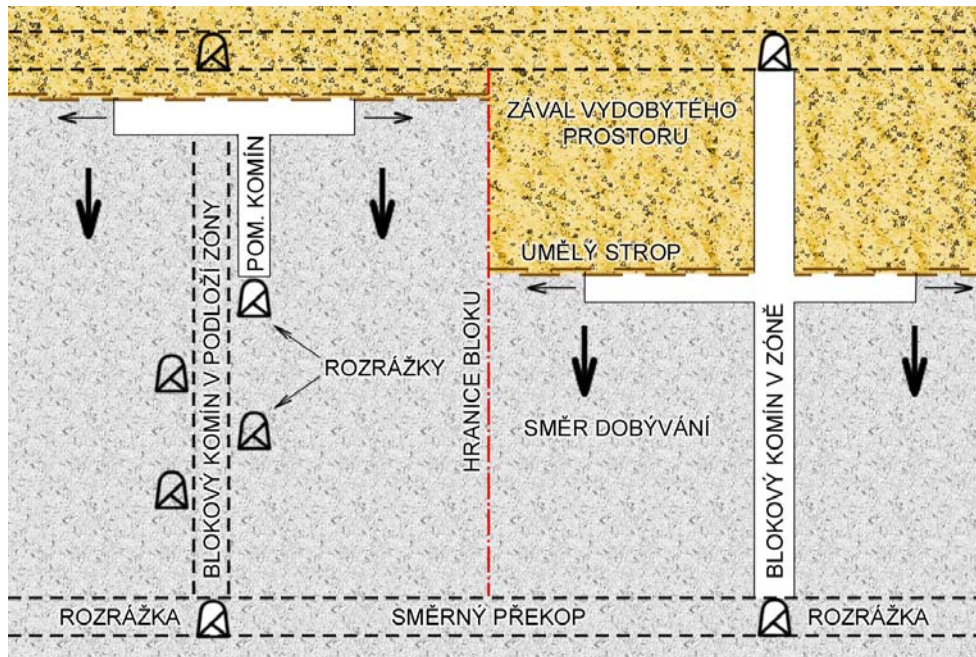
Otvírka ložiska byla provedena z povrchu 9 jámami, další dvě jámy jsou slepé, vyhloubené z 12., respektive z 18. patra na 24. patro. Maximální dosažená hloubka je 1 200 metrů pod povrchem. Z jednotlivých jam byly vyraženy patrové otvirkové překopy, které zpřístupnily rudní tělesa v zónách nebo žilách. Vertikální vzdálenost pater je cca 50 metrů.

Patra jsou rozfárána z hlavních překopů směrnými překopy vedenými v podloží zón, ze kterých jsou raženy krátké rozrážky protínající rudné struktury. Horizontální vzdálenost dvou sousedních rozrážek je zpravidla 50 až 60 metrů. Tím je vymezen rozsah dobývacích bloků. Jednotlivé dobývací bloky jsou připravovány pro vlastní dobývání pomocí blokových komínů, které jsou raženy ze spodního směrem k hornímu patru přímo v zóně (nebo žíle) nebo v jejím podloží podle geologických podmínek v konkrétním místě.

Dobývací metody

Pro exploataci ložiska byly používány dvě základní dobývací metody, „Výstupkové dobývání se zakládáním vydobytych prostor“ a „Sestupné lávkování na zával pod umělým stropem“, respektive jejich jednotlivé varianty podle konkrétních podmínek. Odlišnost jednotlivých variant obou základních metod je dána především různým provedením přípravních prací na bloku (situování komína v zóně nebo v jejím podloží, situování mezipatrových rozrážek apod.). Od konce 80. let je pro exploataci používána výhradně dobývací metoda sestupného lávkování na zával (obr. 7).

Princip metody spočívá v sestupném dobývání (z horního patra směrem ke spodnímu) dobývkového bloku horizontálně raženými lávkami výšky 3 m pod umělým stropem. Vydobyté prostory jsou zaplňovány závalem průvodních hornin z nadloží a podloží a destruované dřevěné výztuže vydobytych úrovní. Prostorové vymezení bloku je opět 60 – 65 m na výšku patra (po úklonu zóny) a směrně 50 – 60 m s tím, že patrová rozrážka je situována uprostřed bloku. Hranice sousedních bloků jsou zpravidla vedeny v poloviční vzdálenosti mezi patrovými rozrážkami. Blok je připraven k dobývání vyražením středového blokového komína z patrové rozrážky ze spodního patra na horní. Po vydobytí lávky, jejíž šířka závisí na průběhu zrudnění, je na urovnanou počvu položen umělý strop z kulatiny a drátěného pletiva. Zával průvodních hornin je vyvolán destrukcí dřevěné výztuže lávky (použitím trhací práce). Při mocnostech nad 4 m je lávka rozdělena na pásy o šířce do 4 m, které jsou dobývány a postupně zavalovány od nadloží směrem do podloží.

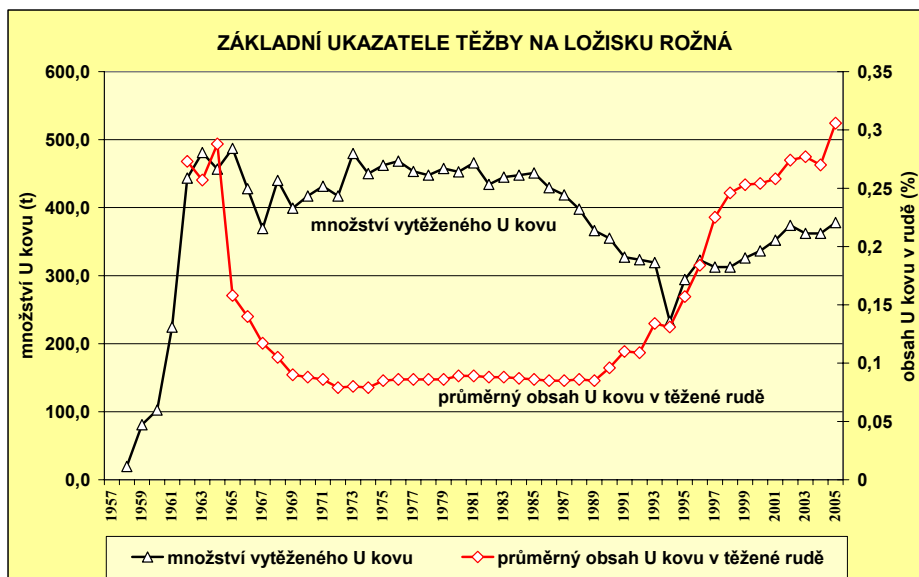


Obr. 7. Schéma dobývací metody sestupné lávkování na zával pod umělým stropem.
 Fig. 7. Scheme of the mining method of top slicing and caving under the artificial roof.

Přehled exploatace ložiska

Ložisko bylo předáno k těžbě v roce 1957 a od té doby trvá nepřetržitá exploatace. Generální postup dobývání je shora dolů, to znamená, že nejdříve byly dobývány podpovrchové partie ložiska (uranová mineralizace byla nalezena již v hloubce 2,0 – 2,5 m pod povrchem). Postupně dobývání pokračovalo do stále větších hloubek, v současné době je těžiště dobývacích prací v hloubce 950 až 1 100 m pod povrchem. Otvírka ložiska je provedena až na úroveň 1 200 m (24. patro), ale s dobýváním v této hloubkové úrovni se již ve větším rozsahu nevažuje z důvodu obtížných baňsko – geologických a mikroklimatických podmínek a výskytu pouze menších rudních těles. Od počátku exploatace ložiska do roku 2005 bylo vytěženo celkem 15,509 mil. tun rudy s průměrným obsahem 0,114 kg U/t rudy, což představuje 17 699 t uranu (obr. 8).

Těžba na ložisku Rožná bude ukončena v roce 2008. Důvodem ukončení těžby bude vytěžení všech ekonomicky těžitelných zásob ložiska. Předpokladem dalšího pokračování těžby je provedení dalšího průzkumu a otvírky nových pater a tím přesunutí těžby do hloubek 1 200 metrů a větších, tj. do podmínek výrazně horších, než ve kterých probíhá nyní.



Obr. 8. Základní ukazatele těžby na ložisku Rožná.
 Fig. 8. Basic indicators of mining in the Rožná deposit.

Likvidace dolů a odstraňování následků těžby a úpravy uranové rudy

Likvidace hlubinných uranových dolů a odstraňování následků těžby a úpravy spočívá v likvidaci a zabezpečení důlních děl, případně volných prostor po dobývání v podzemí, ve vytvoření nového vodního režimu důlních vod, odstranění nebo nalezení nového využití povrchových objektů, rekultivaci odvalů, poklesových kotlin a propadů, a zejména sanaci a rekultivace odkališť chemických úpraven. Zcela specifickým problémem je sanace chemické těžby na ložisku Stráž pod Ralskem, kde chemická těžba byla ukončena v roce 1996. Odstraňování kyselých roztoků z podzemních kolektorů a sanace horninového prostředí bude trvat ještě desítky let.

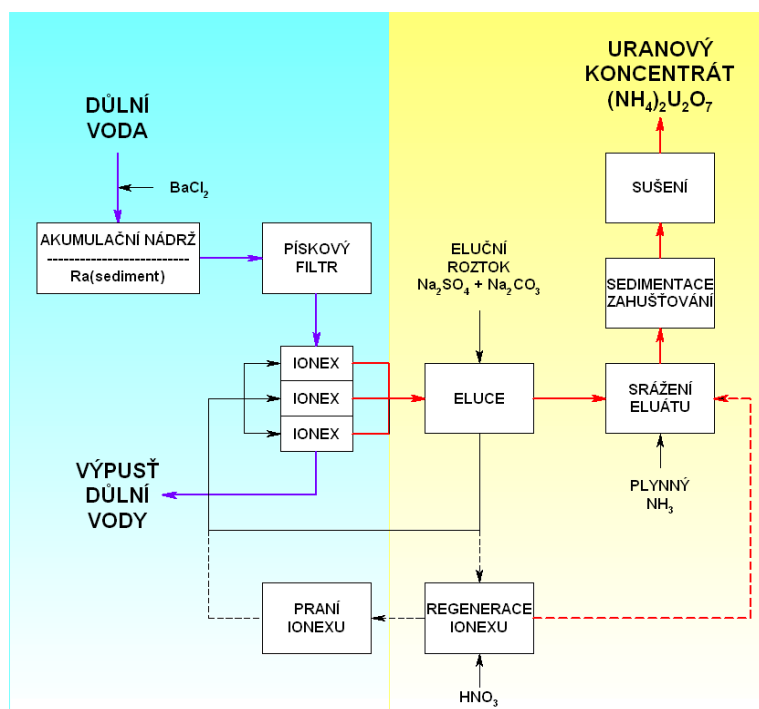
Uvedená činnost je zajišťována státním podnikem DIAMO, resp. jeho odštěpnými závody. Pro postup prací, resp. jednotlivé akce jsou odsouhlaseny Ministerstvem průmyslu a obchodu priority, které na jedné straně zohledňují časovou aktuálnost prací z pohledu možného ohrožení životního prostředí a zdraví obyvatelstva v okolí jednotlivých lokalit a na straně druhé reálné možnosti státního rozpočtu, ze kterého jsou všechny tyto práce hrazeny. Nejvyšší prioritu mají činnosti spojené s nakládáním s kontaminovanými vodami a zabezpečení odkališť, následně pak likvidace hlavních důlních děl, případně jiných důlních prostor ohrožujících svými negativními projevy povrch.

Likvidace uranových dolů, úpraven, odkališť a zahlazení všech následků hornické činnosti je technicky poměrně složitý, časově a finančně náročný proces. Vedle řešení vlastních hornických problémů je nutno řešit i v průběhu likvidačních a sanačních prací specifické problémy uranového hornictví, tj. práce se zdroji ionizujícího záření a ochrana životního prostředí a obyvatelstva před případným únikem radionuklidů. Proto i v etapě likvidace a sanace je zajišťováno důsledné monitorování jak vlastního pracovního prostředí a pracovníků, tak životního prostředí, tj. výpustí a okolí jednotlivých lokalit, a činnosti podléhají doзору Státního úřadu pro jadernou bezpečnost.

Na lokalitách, kde provedený způsob likvidace a sanace neodpovídá současným požadavkům na zajištění bezpečnosti a zejména ochrany životního prostředí (jedná se o lokality, kde těžba a úprava uranu skončila v 60 letech minulého století), jsou postupně realizována opatření ke zlepšení stavu.

Vliv těžby uranu na životní prostředí

Uranové hornictví, které vědomě a záměrně přichází do styku s přírodními zdroji ionizujícího záření, musí řešit specifické problémy, které jsou spojené s možným únikem zdrojů záření do prostředí. Z tohoto hlediska je nutno věnovat největší pozornost důlním vodám, které rozpouštějí uran a radium, a představují tedy transportní médium radionuklidů. Je proto nutné, jak v období exploatace ložiska, tak ve fázi likvidace těžby, řádné hospodaření s důlními vodami v režimu „jímání – řízený odvod z podzemí – čištění – vypouštění“. Jen tak totiž bude zabezpečeno, že mělké podzemní a povrchové vody nebudou ohroženy nekontrolovatelným únikem kontaminovaných důlních vod z ložiska.

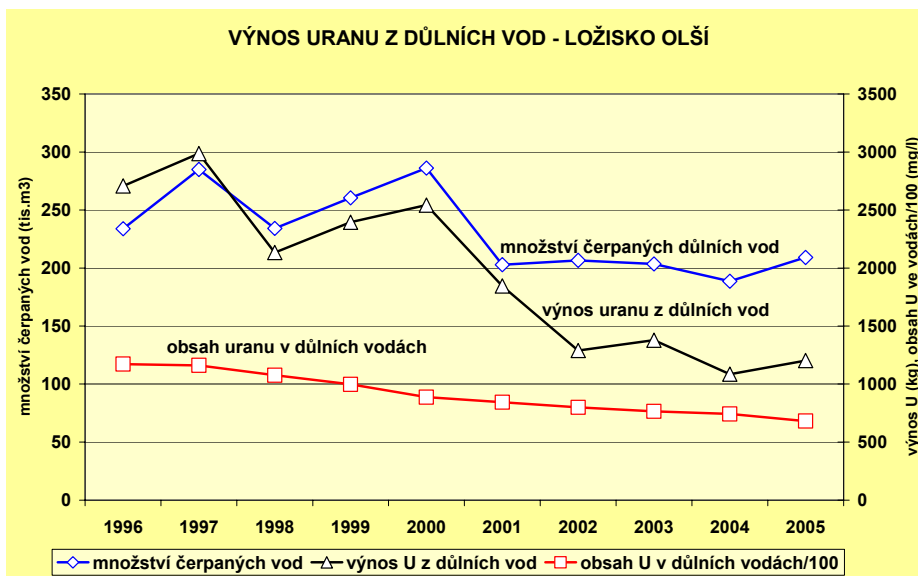


Obr. 9. Blokové schéma čištění důlních vod sorpcí uranu na ionexu.

Fig. 9. Block diagram of mine water purification by sorption of uranium in ion exchangers.

Pro čištění důlních vod jsou v zásadě uplatněny dvě možné technologie. Základní technologie je založena na sorpci uranu na iontoměničích (ionex, např. typu Varion) za současného srážení v důlní vodě obsaženého radia (Obr. 9). Tato technologie čištění důlních vod umožňuje získávat z důlních vod uran, respektive uranový koncentrát, jako doprovodný efekt čištění vod i dlouho po ukončení klasické exploatace ložiska (viz příklad ložiska Olší, obr. 10). Jako eluční roztok je možné kromě chemikálií uvedených ve schématu (tj. $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$) použít roztok kyseliny dusičné (HNO_3) nebo roztoku chloridu sodného s uhlíčanem sodným (NaCl a Na_2CO_3 v poměru 10:1). Srážení eluátu je prováděno buď plynným čpavkem (NH_3) nebo hydroxidem sodným (NaOH) a získaný uranový koncentrát je chemickým složením buď diuranát amonný ($(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$) nebo diuranát sodný ($\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$). Proces čištění důlních vod se předpokládá na jednotlivých lokalitách s ukončenou těžbou po dobu více než několik desítek let, až dosáhnou koncentrace rozpuštěných látek ve vyváděných důlních vodách ze zatopených dolů hodnot přípustných pro jejich přímé vypouštění.

Druhá technologie, tj. srážení hydroxidem vápenatým ve vodě rozpuštěného uranu spolu s dalšími prvky (Ra, Fe, Mn aj.) a ukládání odvodněné sraženiny na zabezpečené skládce je uplatňováno na těch ložiscích



s ukončenou těžbou, kde obsahy uranu ve vodách nejsou významné (do $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$), avšak překračují limity obsahů rozpuštěných látek stanovené pro vypouštění důlních vod do vodotečí.

Obr. 10. Výnos uranu při čištění vyváděných důlních vod ze zatopeného ložiska Olší.
Fig. 10. Yield of uranium at the purification of mine waters drained from the flooded deposit of Olší.

Theoretické možnosti využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby

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. S postupem zatápění se koncentrace uranu ve vodách výrazně zvyšuje a současně dochází k vertikální stratifikaci důlních vod. V hlubších horizontech bývalého dolu jsou koncentrace uranu výrazně vyšší než v podpovrchových částech dolu. Z hlediska čištění vyváděných vod je jednoznačný požadavek na vyvádění vod podpovrchových, tj. 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. Využití důlních vod zatopených bývalých uranových dolů na endogenních ložiscích, tj. v oblastech Příbram, západní Čechy a Dolní Rožínka, jako druhotného zdroje uranu s doprovodným efektem snížení nutné doby čištění vyváděných vod řeší výzkumný grantový projekt, který byl pro léta 2006 – 2008 schválen a přijat Grantovou agenturou České republiky pod názvem „Netradiční využití ložisek uranu po ukončení hlubinné těžby“. Nositelem projektu a hlavním řešitelem je Institut geologického inženýrství Hornicko – geologické fakulty VŠB – TU Ostrava za spolupráce Přírodovědecké fakulty MU Brno a státního podniku DIAMO. Pro tento projekt se podařilo sestavit řešitelský tým, který sdružuje významné vědecké kapacity v oborech hydrogeologie a geochemie spolu se zkušenými provozními technikami státního podniku DIAMO. Potvrzení myšlenky intenzivního využití důlní vody ze zatopených uranových dolů jako druhotného zdroje suroviny teoretickými výpočty a počítačovým modelováním by umožnilo následnou realizaci získávat nezanedbatelné množství uranu. Významný by byl rovněž doprovodný efekt na zkrácení nutné doby čištění důlních vod, které je v podmínkách České republiky financováno ze státního rozpočtu.

Závěr

České uranové hornictví je těsně spjato s vývojem mezinárodních vztahů a vnitřní situací v bývalém Československu po roce 1945, kdy se uran stal strategickou vojenskou surovinou a později jako energetická surovina strategickým zbožím. Z čistě odborného pohledu představuje uranové hornictví krátkou, ale významnou kapitolu českého hornictví. Přispělo k rozvoji celé řady vědních disciplín, hornických a návazných oborů jakož i průmyslovému rozvoji některých oblastí.

V souvislosti s výrazným růstem poptávky a cen energetických surovin v posledních letech jsou zcela jistě na místě úvahy o možnostech dalšího pokračování těžby uranu na území České republiky i po roce 2008. I když většina ložisek již byla vytěžena, přesto zůstávají významné zásoby uranové rudy v oblasti severních Čech (v současné době vedeny jako nebilanční, cca 100 000 t U) a v některých menších lokalitách západní Moravy (Brzkov, Věžnice aj.). Případná exploatace by vyžadovala především další detailní geologický průzkum a na jeho základě pak ekonomický rozbor efektivnosti těžby spolu s řešením ekologických dopadů případné těžby.

Literatura - References

1. Kolektiv autorů: Československá ložiska uranu, *ČSUP, Praha, 1984*.
2. Kolektiv autorů: Sborník dobývacích metod (včetně doplňků), *GEAM, Dolní Rožínka, 1981*.
3. Michálek B., Navrátil P.: Ekonomická a báňsko - technická analýza dobývacích metod na ložisku Rožná, *URGP 10/2000*.
4. Kolektiv autorů: Rudné a uranové hornictví České republiky, *Anagram, Ostrava, 2003*.
5. Michálek, B., Hájek, A., Navrátil, P.: Poznatky z těžby uranového ložiska Rožná, *URGP 10/2004*.
6. Kříbek, B., Hájek, A.: Uranové ložisko Rožná – Model pozdně varijských a povarijských mineralizací, *Česká Geologická služba, Praha, 2005*.
7. Informační materiály s.p. DIAMO