

**Ing. et Ing. Michal Vokurka**

**RECENZE:**

**Mgr. František Toman, Ph.D.**

## **Biologické loužení chudých uranových rud na lokalitě Železná hory – Licoměřice v letech 1982-1985**

*Vážné problémy neustálého snižování hodnoty pH čerpané důlní vody na lokalitě Licoměřice v letech 1965-1969 vedlo pracovníky závodu GP IV Nové Město na Moravě k nutnosti tuto situaci řešit. O vzniklou situaci se začalo zajímat pracoviště Výzkumného ústavu veterinárního lékařství v Brně, které zjistilo, že*



*Obrázek č. 1: Těžní věž průzkumné šachtice Š-56 Licoměřice*

*že systematický vzrůst kyselosti důlních vod je zapříčiněn vlivem spontánního působení autotrofních thionových bakterií.*

*Po provedení základního mikrobiologického výzkumu bylo zjištěno, že tuto zvýšenou oxidační aktivitu autotrofních thionových bakterií lze využít ke druhotnému získávání nebilančních uranových rud ze základek již vydobytych rudních bloků.*

*Pro poloprovozní biologické loužení byla vybrána relativně hydrogeologicky samostatná část ložiska Licoměřice, a to dobývky na žilách L<sub>21</sub> a L<sub>22</sub> nad štolou č. 14. Na základě pozitivních výsledků polo-provozního režimu byl schválen trvalý provoz a zároveň bylo přistoupeno k přípravným pracím na žilách L<sub>3</sub> a L<sub>4</sub> na jámě Š-56 Licoměřice. Kvůli nepříznivým pa-*

*rametrům důlní vody byla na čistírně důlních odpadních vod prováděna pouze neutralizace důlních vod vápenným hydrátem. Vzniklé kaly byly následně odváženy na chemické úpravy v Mydlovarech a Stráži pod Ralskem, kde z nich byl získáván uranový kov.*

## Úvod

Vývoj a problematiku dobývání uranových rud na ložisku Licoměřice, jako i na jiných ložiscích, určovaly geologické podmínky. V závislosti na úklonu, mocnosti, pevnosti hornin v podloží a nadloží a na základě hydrogeologických poměrů aj., byla zvolena výstupková dobývací metoda, která jen místy v okrajových částech přecházela na dobývací metodu výběrovou z průzkumných mezipater [1].

Řešením problému velmi nízkého pH čerpaných důlních vod se naskytla možnost prodloužení získávání uranu z ložiska Licoměřice z důlních vod. Toto druhotné získávání uranu je sice běžně provozováno při těžbě uranu, avšak v tomto případě by byl proces intenzifikován pomocí autotrofních thionových bakterií, které byly ve vodě přirozeně přítomny [2].

Příhodné podmínky ložiska Licoměřice vedly pracovníky československého uranového průmyslu k aplikaci tohoto zjištění a provedení poloprovozního pokusu biologického loužení chudých uranových rud. Základem řešení úkolu bylo umělé a regulované zkrápění základek dobývek neupravenou důlní vodou dolu Licoměřice pomocí čerpacího systému, zásobníků a rozvodů. Voda vlivem gravitace prosakovala základkami i rozpukanými bočními horninami dobývek a přitom vyluhovala uran, kterým se současně obohacovala spolu s jinými produkty oxidace rudniny a hornin. Obohacená důlní voda byla pomocí hrází, čerpadel a potrubí jímána a vedena na čistící stanici důlních odpadních vod.

Díky tomuto procesu byla těžba na ložisku Licoměřice prodloužena o dalších pár let. Poslední bilance uranového kovu připisovaného k ložisku Licoměřice je z roku 1989 [1].

## Stručná historie těžby uranu na ložisku Licoměřice

V oblasti Železných hor byla objevena řada menších uranových ložisek a rudních výskytů. Některé lokality byly průmyslově těženy jako např. Licoměřice, Březinka, Bernardov, Chotěboř, Pukšice, kdežto na ostatních byl proveden pouze geologický průzkum. Předmětné důlní pole Licoměřice-Březinka byla objevena emanačním průzkumem v letech 1961-1962, který v této oblasti prováděl závod IV GP UP Nové Město na Moravě [3].

Ložisko Licoměřice se nachází v Pardubickém kraji v západní části okresu Chrudim. Ložisko bylo zpřístupněno dvěma otvírkovými hlavními důlními díly. Průzkumná štola č. 14, jako první průzkumné dílo, byla vyražena v letech 1963-1964 v délce 254,5 m [1]. Průzkumná šachtice Š-56 Licoměřice byla situována cca 300 m jihovýchodně od obce Licoměřice. Hloubení šachtice bylo započato v roce 1965, a byla prohloubena na konečnou hloubku 217 m, tj. do úrovně 4. patra [4].

Dobývání ložiska bylo prakticky zahájeno v roce 1968, kdy na krátkou dobu šesti měsíců prováděl dobývání odštěpný závod UD Dolní Rožínka. Po této době bylo dobývání opět vedeno pod podnikem GPUP IV Nové Město na Moravě. Dobývání hornickým způsobem bylo ukončeno v 1. březnu 1982 z důvodu vydobytí všech volných zásob. Následně byl na základě pokusného biologického loužení schválen v roce 1984 trvalý provoz podzemního biologického loužení uranu, který byl na ložisku Licoměřice ukončen začátkem roku 1986 [4]. V celkové bilanci kovu je uváděno vytěžení 317,71 t uranu z dobývek a příprav v kvalitě 0,065 %. V gravitačně separovaných kalech, vznikajících vyluhováním, je uváděna bilance v množství 35,24 t uranu v zastoupení 0,3-0,4 % U. Celkem bylo na ložisku vytěženo 352,95 t uranového kovu [1].

## Geologická a hydrogeologická charakteristika ložiska

Železné hory leží v centru Českého masívu a svými jednotkami tvoří součást svrchně proterozoické až paleozoické lineární struktury, protínající celý Český masív. Převážně jsou tvořeny komplexem vulkano-sedimentárních formací, vzniklých na okraji barrandienské miogeosynklinály. Pestrý soubor dat absolutního stáří dokládá intenzivní kaledonské a variské metamorfni a granitizační pochody [1].

Ložisko Licoměřice leží ve střední části jihozápadního svahu Železných hor. Na ložisku vystupují série středně metamorfovaných hornin podhořanského krystalinika. Rozhodující význam pro lokalizaci uranového zrudnění měla řada zlomů zpeřených k okrajovému železnohorskému zlomu. Hlavní struktury ložiska mají směr 310-340°, úklon 60-90° k SV, jako vedlejší se uplatňují směry kolem 10 a 100°.

Na ložisku Licoměřice převažovaly uranonosné struktury žilného typu představované středně mocnými (výjimečně přes 2 m) mineralizovanými tektonickými poruchami, vyplněnými horninovou drtí, tektonickým jílem spolu s křemenem, pyritem a uranovým zrudněním. Výplň struktur i jejich blízké okolí bývají intenzivně hydrotermálně přeměněny, silně chloritizovány a často pyritizovány [2].

Uranové zrudnění, které bylo tvořeno patrně regenerovaným uran-bitumenovým komplexem (tucholitem), se vyskytoval především ve vtroušené formě jemné impregnace, dále v tenkých žilkách a prožilcích nebo tvořil povlaky puklin. Uranová mineralizace nebyla omezena jen na vlastní tektonické poruchy, ale často impregnovala i průvodní alterované horniny v jejich blízkém okolí [2]. Vyskytovaly se i žilné typy struktur vyplněné tektonickou brekcií proniklou žilným křemenem s pyritem a žilkami většinou lesklého tucholitu [5].

Hydrogeologické poměry na ložisku Licoměřice jsou ovlivněny hlavně charakterem disjunktivní tektoniky. Zaso-

bárnou puklinových vod jsou pokryvné útvary, které pohlcují srážkovou vodu a předávají ji skalnímu podkladu [5]. Pokryvné útvary (aluvium, eluvium, proluvium) jsou písčito-hlinito-kamenité propustné vrstvy o mocnosti 1-2 m, v okolí potoka Kurvice až 5 m. Komunikaci srážkových vod do podzemí zprostředkovávají pukliny a tektonické brekcie. Místní erozní bázi pod štolou č. 14 tvoří potok Kurvice (přítok Doubravy), zaříznutý 10-30 m pod úrovní ústí štoly [6].

Vlastní horniny krystalinika jsou celistvé, jen nepatrně porézní a jsou tedy prakticky nepropustné. Oběh podzemních vod je omezen na tektonické poruchy s drcenou žilnou nebo horninovou výplní, a to zejména na propustnější úseky bez tektonického jílu. Přítoky v podzemí byly převážně nesoustředěné. Vydutnost některých přítoků byla výrazně ovlivňována srážkovou činností a ročními obdobími. Průměrné množství čerpaných důlních vod se lišilo v závislosti na rozfáření důlního pole, avšak průměrná hodnota činila  $5,6 \text{ l.s}^{-1}$  [5].

Chemismus důlních vod byl ovlivněn

jak okolními horninami a výplní disjunktiv, tak i samotnou hornickou činností. Na ložisku bylo možné vyčlenit dvě skupiny podzemních vod. První skupinu tvořily vody s pH vyšším než 6 a celkovou mineralizací nepřesahující  $850 \text{ mg.l}^{-1}$ . Tyto vody bylo možné zastihnout především v okrajových částech důlního pole a v místech, která neměly přímou souvislost s dobývacím prostorem. Druhou skupinu tvořily vody s pH kolem 3, u kterých bylo možné lokálně zjistit hodnoty pH nižší než 3. Jejich celková mineralizace byla vyšší než  $6\,000 \text{ mg.l}^{-1}$  a při extrémně nízkých hodnotách pH až přes  $15\,000 \text{ mg.l}^{-1}$ . Bylo zřejmé, že celková mineralizace rostla úměrně s jejich vzrůstající kyselostí. Největší podíl na jejich mineralizaci měly kationty Fe ( $40\text{-}1\,200 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a z aniontů  $\text{SO}_4$  ( $930\text{-}9\,500 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Jednalo se o velmi kyselé důlní vody, v literatuře označované jako vody vitriolové, které jsou typické pro sulfidická ložiska [5].

Geneze těchto kyselých důlních vod byla vázána na oxidační zónu ložiska. Jak v samotné výplni tektonických struktur, tak i v okolních horninách se

hojně vyskytoval pyrit i některé další sirníky. Oxidací pyritu vznikala kyselina sírová, která způsobovala pokles pH v důlních vodách. Zhoršování kvality důlních vod v závislosti na čase a tedy i na postupném rozfáření ložiska a stále se zvětšujícím rozsahu oxidace ložiska lze vidět v tabulce č. 1 [5].

Okamžitý stav kvality důlních vod je závislý na mnoha faktorech. Je ovlivněn četností srážek i ročním obdobím. Tyto faktory přímo ovlivňovaly oxidaci pyritu, která byla na ložisku Licoměřice urychlována přirozenou činností bakterií. Tyto bakterie citlivě reagují na změny teploty svého okolí a množství vzdušného kyslíku. S poklesem pH se úměrně zvyšuje celková mineralizace i obsah uranu, které je úměrně intenzitě hornické činnosti. Důležitou roli v těchto procesech sehrává i skutečnost, že puklinové vody, pronikající do hlubších partií ložiska, si postupně nacházejí nové cesty, proto intenzivnějším oběhem puklinových vod obsah uranu v čerpané vodě stoupá i přes zvýšení přítoků [5].

Protože v ČSÚP nebyly zkušenosti s podzemním biologickým loužením rud, bylo rozhodnuto zahájit výzkumnou i zkušební část v malém rozsahu.

**Tabulka č. 1: Parametry důlní vody v závislosti na zvyšující se rozfáranosti ložiska Licoměřice [5]**

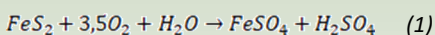
Období	Čerpané množství	Celková mineralizace	U	pH
	$\text{l.s}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	$\text{mg.l}^{-1}$	-
1966-68	3,9	421	0,2	5,8
1969-70	3,6	484	1,6	neměřené
1971	5,1	817	5,9	neměřené
1972	5,0	1 414	11,9	4,2
1973	5,5	2 399	15,0	2,7
1974	6,0	3 074	15,9	2,9
1975	6,0	2 638	17,2	3,6
1976	7,5	2 935	17,0	3,7
1977	6,7	3 967	21,9	3,9
1978	5,0	3 904	17,9	3,9
1979	5,7	4 447	14,8	3,3
1980	5,6	4 051	11,9	3,2
1981	5,5	4 683	10,2	3,2

Pro tento účel se nejlépe hodila relativně hydrogeologicky samostatná část ložiska Licoměřice a to dobývky na žilách L<sub>21</sub> a L<sub>22</sub> nad štolou č. 14, které mají směr 315-335° a úklon 60-80° k JZ i SV. Obě žíly se směrově i po úklonu sbíhají a linie styku probíhá pod úklonem 70-75° k JV. Od horizontu štoly až po povrch byly vydobyté žíly, o vertikální délce cca 35 m, založené základkou získanou z rozrážek do nebilančních částí bloku. Společně s dalšími komunikačními cestami vytvořenými trhacími pracemi a následným rozvolněním nadloží při stlačování základky a samovolným zavalováním vydobytych prostor vznikl samostatný hydrogeologický systém intenzivní propustnosti, mající na úrovni štoly průměrné rozměry 90 m délky, 55 m šířky a 46 m vertikální výšky. Dohromady byl vybrán blok o objemu 227 700 m<sup>3</sup> [6].

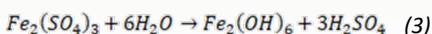
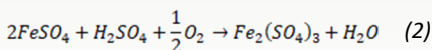
## Podstata biologického loužení uranu

Spontánní vyluhování uranu důlními vodami je známé z většiny těžných

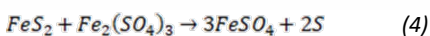
uranových ložisek. Na ložisku Licoměřice dochází k samovolnému vyluhování uranové rudy obdobným způsobem jako při kyselém loužení rud v chemické úpravně. Potřebná kyselina sírová zde však vzniká přirozenou oxidací pyritu přímo v ložisku. Pyrit (FeS<sub>2</sub>), který je zde obsažen v hojném množství, snadno oxiduje podle následující rovnice:



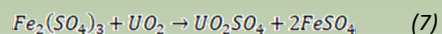
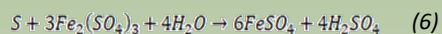
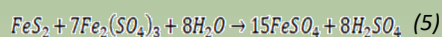
Tvoří se síran železnatý a volná kyselina sírová, která reaguje s okolními nerosty a vytváří tak sírany. Rozpustný síran železnatý (FeSO<sub>4</sub>) migruje do sousedních partií, oxiduje na síran železitý a ten hydrolyzuje na hydroxid železitý (Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>) a další volnou kyselinu sírovou podle rovnic:



Vzniklý síran železitý může také reagovat podle následující rovnice:



Současně zde probíhají i další reakce:

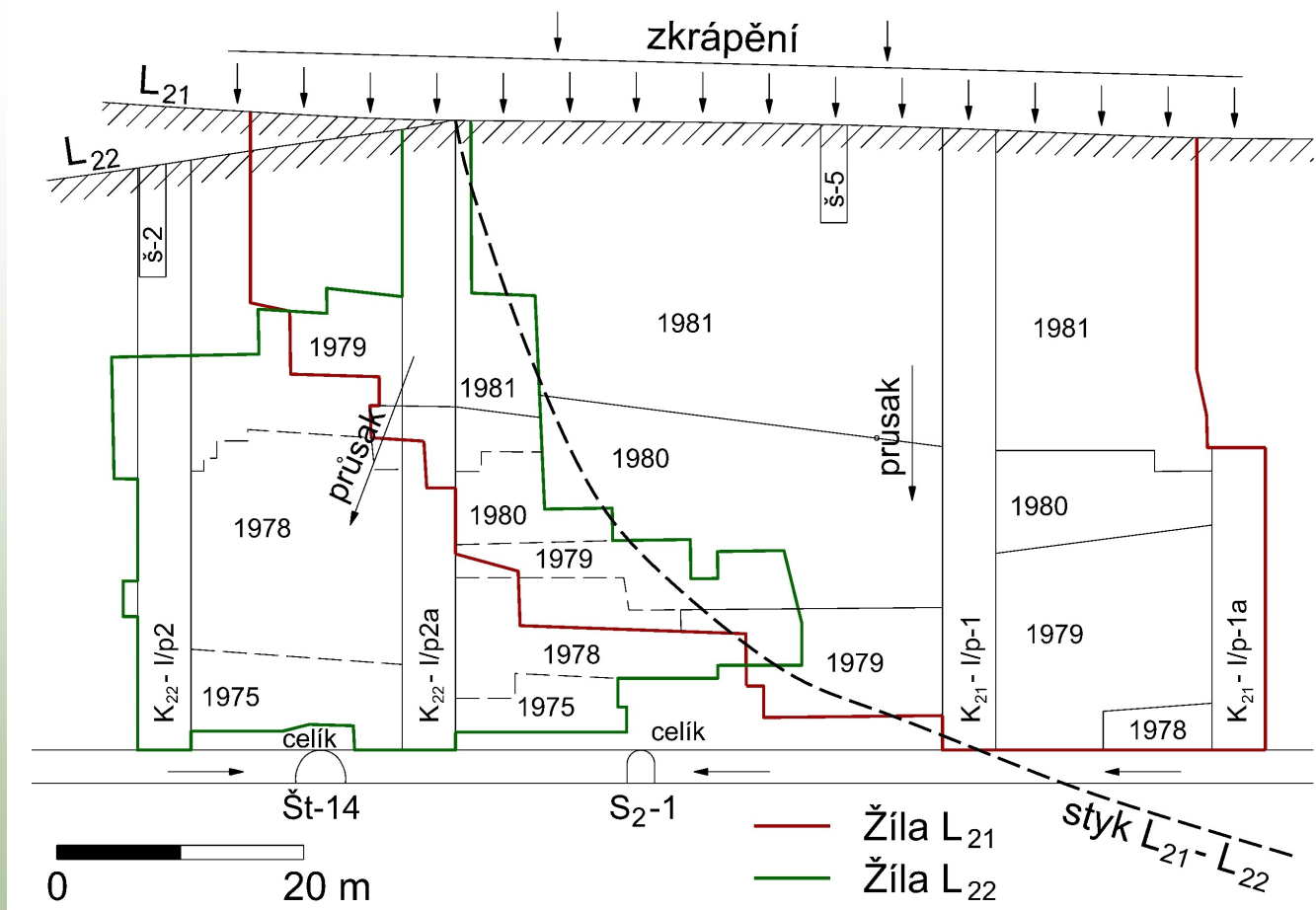


Celý proces je však složitější než normální rozpouštění. Velká část uranu je v rudě přítomná ve čtyřmocné formě, která je za normálních podmínek v kyselině sírové téměř nerozpustná. Síran železitý však oxiduje U<sup>4+</sup> na rozpustný U<sup>6+</sup>.

Rozdíl mezi úpravárenským procesem a kyselým vyluhováním v přírodních podmínkách je v tom, že oxidaci železnatého iontu na železitý nezpůsobuje chemické činidlo, ale autotrofní thionové bakterie, zejména bakterie rodu *Acidithiobacillus* (zastarale *Thiobacillus*). Uran bakterie přímo nenapadají. K rozpouštění uranu dochází vlivem reakce Fe<sup>3+</sup> s pyritem a minerály uranu [5].

Objev acidofilních bakterií oxidujících železo je základem pro loužení kovů jako primárně biologicky katalyzované

Obrázek č. 2: Vertikální projekce žil L<sub>21</sub> a L<sub>22</sub> důlní situace štoly 14



ho procesu. V řízeném procesu jsou minerály degradovány mikroorganismy

Nejvíce prezentovaný teoretický výklad funkce autotrofů je postaven na předpokladu, že thionové bakterie oxidují siřníkové nerosty dvěma způsoby:

- Přímo – kde je nutný bezprostřední kontakt mezi bakteriální buňkou a povrchem nerostu,
- Nepřímo – kde působí některé produkty bakteriálního metabolismu, zejména síran železitý a kyselina sírová [7],
- Galvanické rozpouštění – kde kontakt mezi různými sulfidy v prostředí zředěné kyseliny sírové nebo roztoku síranu železitého jako elektrolytů vytváří galvanický článek [8].

Za předpokladu, že je rovnice (1) katalyzována thionovými bakteriemi, jedná se o přímou oxidaci. Reakce (2), (3) a (4) vyjadřují nepřímé působení bakteriálního metabolismu. Důležitá je oxidace dvojmocného železa v prostředí kyseliny sírové [6].

### Mikrobiologický výzkum

Na lokalitě Licoměřice se v průběhu několikaleté těžby vyskytly vážné problémy, které vyplynuly z neustálého snižování hodnoty pH čerpané důlní vody až na hodnoty pH 2-3. O vzniklou situaci se začalo v roce 1970 zajímat pracoviště Výzkumného ústavu veterinárního lékařství v Brně a bylo zjištěno, že systematický pokles kyselosti důlních vod je zapříčiněn vlivem spontánního působení autotrofních thionových bakterií. Následně na tomto zjištění byl proveden mikrobiologický výzkum [9].

Mikrobiologický průzkum lokality Licoměřice byl prováděn v letech 1974-1975 jednoznačně prokázal přítomnost thionových bakterií na ložisku a jejich aktivní účast na procesu oxidace redukovaných sloučenin síry a železa a

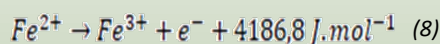
z toho vyplývajícího zvyšování kyselosti důlních vod a loužení uranu.

K roku 1975 bylo z licoměřické oblasti izolováno celkem 108 kultur, optimálně loužících uran. Kolektivem Výzkumného ústavu veterinárního lékařství v Brně bylo konstatováno, že proces loužení na ložisku Licoměřice probíhá spontánně, a že je technicky zvládnutelné tento proces nejen řídit, ale i optimalizovat. Pro tuto činnost byl:

- vypracován systém izolace, uchování, kultivace a hodnocení kultur autotrofů [10],
- ověřena možnost technického využití autotrofů v laboratorních modelech pro použití jak při povrchovém, tak i důlním loužení [11],
- licoměřický model biologického loužení byl ověřen na jáchymovské lokalitě a výsledky, kterých bylo dosaženo byly z technického hlediska pozoruhodné a realizovatelné [12].

Významným závěrem však byla skutečnost, že šlechtěné kmeny thionových bakterií pokryly biologickou produkcí veškerou spotřebu kyseliny sírové. Tyto výsledky oprávnily řešitelský kolektiv k doporučení provozních zkoušek.

Společnou charakteristickou vlastností thionových bakterií je jejich schopnost získávat energii oxidací thiosíranů na sírany. Oxidují též elementární síru, sirovodík a jiné částečně redukované sloučeniny síry. Druh *Acidithiobacillus ferrooxidans* je navíc schopen získávat energii rovněž oxidací dvojmocného železa podle rovnice (8):



Finálním faktorem elektronů je vzdušný kyslík. Uvedené bakterie jsou totiž přísně aerobní, tj., že pro svůj růst nutně potřebují vzdušný kyslík pro oxidaci živin [5].

*Acidithiobacillus ferrooxidans* se vyznačují velikostí buněk 0,5-1,2  $\mu m$ . Opti-

mální pH růstu je v rozmezí 2,3-5,8, avšak rostou i při pH 1,4-6,0. Optimální teplota růstu je 15-23 °C. Okrouhlé kolonie se vyznačovaly na pevných půdách perličkovitým výsevem, velikost dle stáří v průměru 1-3 mm s charakteristickým světle až tmavě hnědým středem, povrch byl hladký až světlý [8][9].

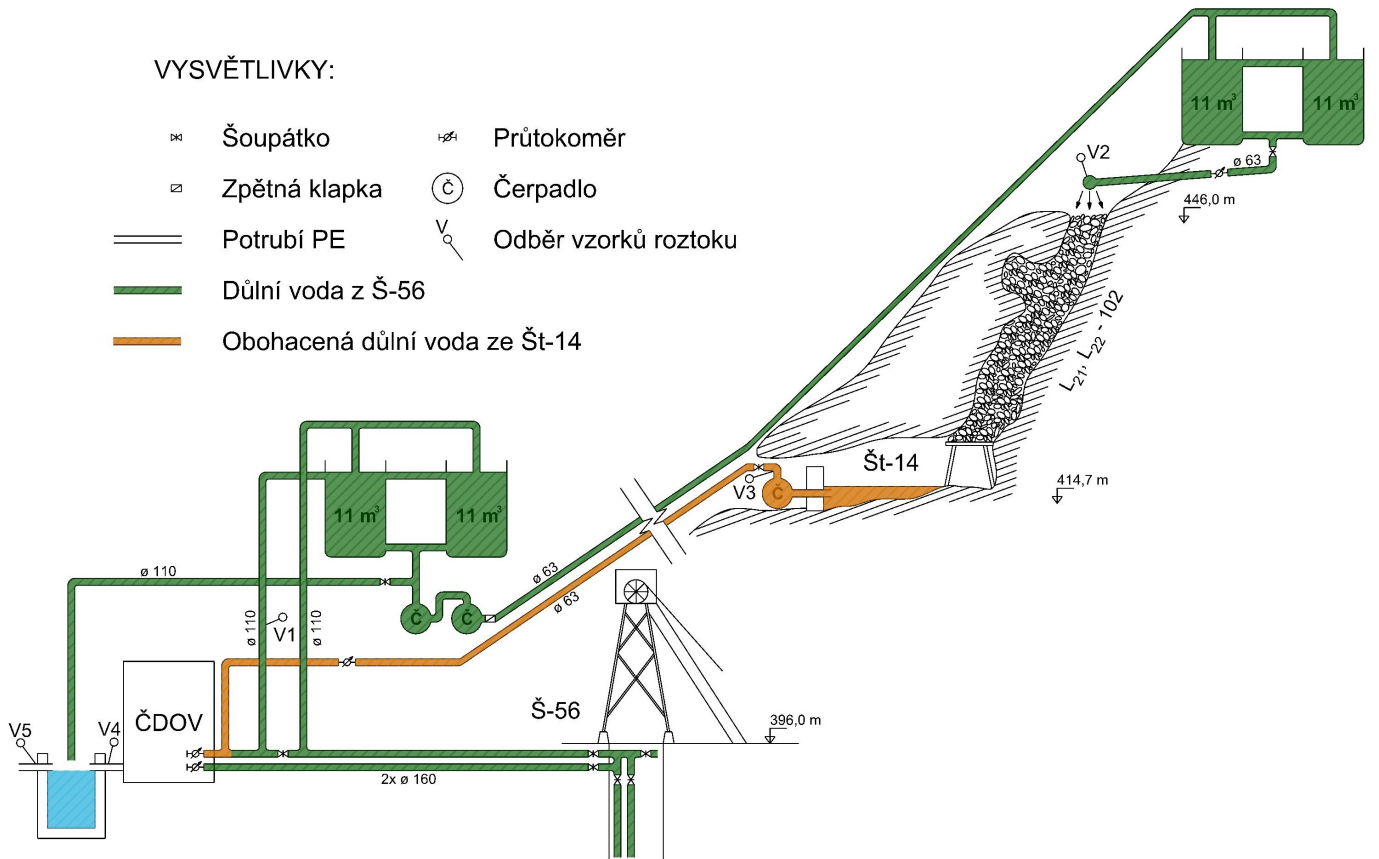
*Acidithiobacillus thiooxidans* se liší od výše uvedených velikostí buněk velikostí 0,5-2  $\mu m$ . Optimální pH růstu je v rozmezí 1,0-3,5. Optimální teplota růstu je 28-30 °C, avšak rostou i při 10-37 °C. Kolonie na pevných půdách se vyznačovaly až vláknitým okrajem, průměrná velikost 2-4 mm, byly světle žluté, povrch drsný a matný [8][9].

Bakteriální pochod nejlépe probíhá při 20 °C. Bakterie jsou odolné proti vysokému obsahu kationtu Fe, Cu, Zn, U a dalších kovů [5]. Závěry laboratorních pokusů vykazovaly relativně vysoké výtěžnosti uranu na lokalitě Licoměřice při použití neupravené důlní vody jako loužícího roztoku. Bylo ověřeno, že samotná důlní voda má pro biologické loužení optimální kyselost [7].

### Poloprovozní biologické loužení na štole č. 14

Na základě pozitivních výsledků předcházejícího projektu, kde bylo aplikováno biologické loužení na odvale jámy Š-56 v letech 1969-1971 [14][15] a na základě mikrobiologického výzkumu z let 1974-1975 bylo zahájeno v roce 1982 poloprovozní loužení na štole č. 14 ložiska Licoměřice [1]. Byla provedena výstavba technologického zařízení a následně v letech 1983-1984 probíhal na štole č. 14 ověřovací provoz, a to vždy v teplejší části roku (duben-říjen). V zimním období (listopad-březen) byl provoz z důvodu velmi nízkých teplot provoz přerušen [6]. V roce 1985 bylo celé zařízení na základě kladných výsledků převedeno do trvalého provozu [13].

Obrázek č. 3: Technologické schéma biologického loužení na štole č. 14



Jako loužící roztok byla používána důlní voda, která byla čerpána z čerpací stanice na 3. patře jámy Š-56 Licoměřice na povrch do čistírny důlních odpadních vod (ČDOV). Do sběrné jímky čerpací stanice na 3. patře jámy byla samospádem sváděna důlní voda z horních pater a dále čerpána voda ze 4. patra a z volné hloubky jámy. Z toho lze popsat jakost důlní vody, používané k loužení, jako vodu proměnlivou podle zastoupení vod z jednotlivých přítoků.

Tato voda byla napouštěna do 2+2 zásobních nádrží, umístěných na povrchu. Zásobní nádrže musely být použity z důvodu čerpání důlních vod z dolu, které bylo nepravidelné, avšak doplňování loužícího roztoku do podzemí bylo nepřetržité. Jako zásobníky byly použity dřevěné nádrže 4,5 m vysoké s vnitřním průměrem 1,8 m se tloušťkou stěny 72 mm, což odpovídalo užitému objemu 11 m<sup>3</sup>.

Jedna dvojice vzájemně propojených nádrží byla umístěna v blízkosti ČDOV. Důlní voda byla do těchto nádrží čerpá-

na z jámy Š-56 pomocí potrubí DN160. Z těchto spodních nádrží byla důlní voda přečerpávána do druhé dvojice vzájemně propojených nádrží, které byly umístěny nad výchozem dobývek ze štolý č. 14. K přečerpávání bylo použito dvou čerpadel typu 50 NVD 25013 ZC 0009 firmy Sigma Olomouc (15,7 kW; 29,5 A; 2900 ot.min-1; 6,66 l.s-1; 687 J.kg-1). Čerpadla byla zapojena sériově, aby se překonal výškový rozdíl 70 m mezi spodními a horními nádržemi. Důlní voda coby loužící roztok vytékala z horních nádrží samospádem do potrubí, které bylo umístěno podél výchozu dobývek na povrchu. Potrubní rozvody pro biologické loužení byly zhotoveny ze svařovaného PE potrubí DN63 s veškerými regulačními prvky v kyselinovzdorném provedení [6].

Odhalená rýha výchozu dobývek byla předělena nízkými hrázkami na sekce v tzv. mozaikové struktuře, aby bylo docíleno rovnoměrného saturování výchozu v celé délce. Výchoz dobývek na povrchu měl délku 55 m a byl rozdě-

len na 6 sekcí. Každá z těchto sekcí byla zásobována samostatnou odbočkou z potrubí. Všechny odbočky z nátokového potrubí byly osazeny ventily, aby bylo docíleno vzájemné regulace pro plynulé zásobování loužícím roztokem. Z jednotlivých odboček vytékal loužící roztok na fólii z černého PE, která byla uložena na zemi přes hranu výchozu, a z ní následně samovolně stékal do rýhy. Akumulování loužícího roztoku na fólii spolu s jeho akumulováním v nádržích, přispěly k jeho obohacování vzdušným kyslíkem, čímž byl roztok přirozeně ohříván. Tak byla zvyšována aktivita bakterií, napomáhajících k vyluhování.

Loužící roztok z rýhy samovolně prosakoval základkou až na úroveň štolového patra. Dobývka byla takto kompletně vyplněna. Na štolovém patře byl obohacený roztok jímán za hrází, umístěnou při ústí štolý [2]. Jímána byla nejen voda vytékající z vydobytých prostor, ale i voda drénující do ní z okolních hornin. Během provozu byla

ověřena interakce loužicího roztoku do okolních hornin, a tak došlo k účinné saturaci až 20 m do nadloží a 30 m do podloží. Obohacená voda akumulovaná za hrází byla následně čerpána čerpadlem typu 50 NVD 25013 ZC 0009 firmy Sigma Olomouc přes výtokové potrubí ze štoly č. 14, které bylo napojeno na výtlačné potrubí z jámy Š-56. Společně s čerpanou důlní vodou byl roztok veden na ČDOV [6].

Napouštění důlní vody do spodních nádrží probíhalo samočinně. Ovládním ventilu na výtlačném potrubí před ČDOV byl regulován tlak vody v odbočce z tohoto potrubí do spodních nádrží. Ty se naplnily a přebytečná voda z nich odtékala nazpět do potrubí na ČDOV. Tímto způsobem bylo zajištěno neustálé naplnění spodních nádrží v době čerpání důlní vody z dolu.

Ovládání čerpadel bylo zajištěno automatickým režimem na základě výšky hladin v nádržích. V horních nádržích byl umístěn plovákový vysílač PV 2, který byl naprogramován tak, aby při své minimální úrovni přivedl čerpadla do chodu a při dosažení maximální úrovně tyto čerpadla vypnul. Minimální hladina ve spodních nádržích byla sledována plovákovým vysílačem PV 1. Pro jeden čerpací cyklus byla určena výška vodního sloupce 470 mm, což odpovídalo době čerpání 12 min. Jednorázové přečerpání většího objemu čerpacího roztoku by bylo nepříznivé z důvodu častého vyčerpání spodních nádrží. Vyčerpání 1 m vodního sloupce ve spodních nádržích odpovídalo 5,203 m<sup>3</sup> loužicího roztoku. Každému čerpacímu cyklu odpovídal stejný objem, který byl několikrát v průběhu provozu loužení cejchován.

Celkový objem důlní vody použitý k loužení byl sledován pomocí elektrických součtových hodin, jejichž pomocí byla zajišťována celková doba čerpání a dále telefonním počítadlem, které znamenávalo počet čerpacích cyklů

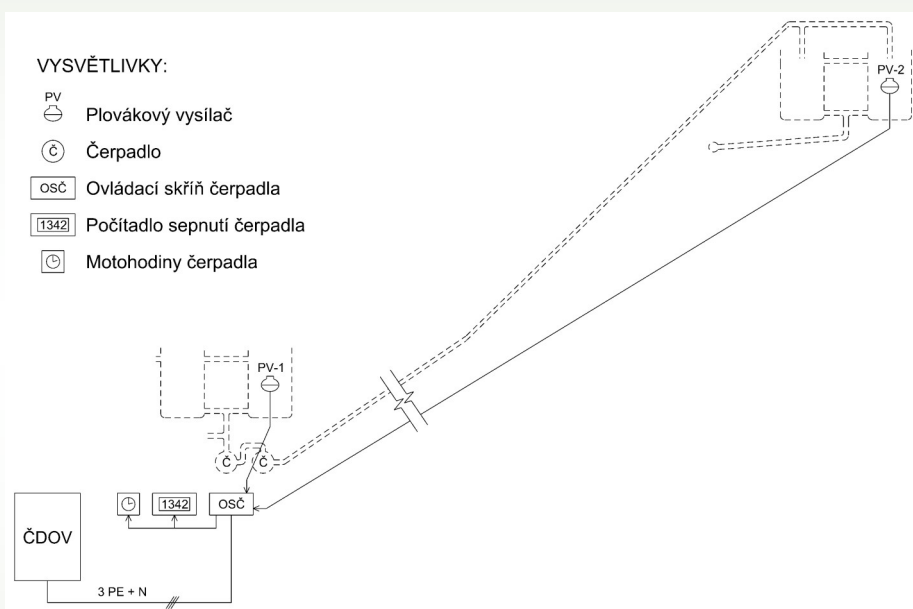
(zapnutí čerpadel). Registrace celkové doby čerpání byla potřebná ke kontrole a k vyloučení krátkých sepnutí čerpadel při zkouškách čerpadel apod. [2].

Čerpadlo určené pro čerpání obohaceného loužicího roztoku bylo umístěno při ústí štoly č. 14. Toto čerpadlo bylo řízeno automatickým režimem pomocí plovákového vysílače umístěného na hrázi při ústí štoly č. 14. Objem obohaceného loužicího roztoku, resp. výluhu, byl registrován indukčním průtokoměrem typu 10 D 1420 zn. Fisher-Porter, jehož snímač byl umístěn ve výtokovém potrubí ze štoly.

Ústřední laboratoře ve Stráži pod Ralskem, kde byly zjišťovány populace oxidačně aktivních thionových bakterií [2].

Pro vodohospodářské účely byly navíc denně odebírány vzorky na výtoku z ČDOV před vtokem do sedimentační nádrže (V4) a po výtoku z ní do potoka Kurvice (V5). U nich bylo rovněž stanovováno pH a obsahy uranu.

Další analýzy, především rozšířené chemické rozbory a analýzy slévaných průměrných vzorků, byly dle potřeby prováděny Ústřední laboratoři ve Stráži pod Ralskem [6].



**Obrázek č. 4: Blokové schéma ovládní přečerpávání důlních vod na štole č. 14**

Všechny výše uvedené údaje byly zaznamenávány 2x denně, a to v 8:00 a 20:00 hodin, a zapisovány do knihy provozu biologického loužení. Po analýze těchto vzorků byla prováděna denní bilance napouštěného i vyteklého množství kovu.

Mimo sledování objemů nátoků a výtoků důlní vody bylo pravidelně prováděno vzorkování loužicího roztoku na vstupu (V2) a na výstupu (V3), přičemž byla 1x denně měřena teplota výluhu, pH a obsahy uranu. Zároveň byly odebírány i vzorky, které byly posílány do

## Čištění důlních vod a kalové hospodářství

Díky značnému podílu síranů a nerozpustných látek v důlních vodách Š-56 Licoměřice nebylo možné pro čištění vod od uranu a radia využít iontoměničů či jiných sorbentů. Čištění důlních vod na ČDOV spočívalo v prosté neutralizaci důlní vody vápenným hydrátem Ca(OH)<sub>2</sub> na pH 8,0-8,5 [1]. Při tomto procesu docházelo k vysrážení rozpuštěného Fe a Mn ve formě hydroxidů, k záchytu U a Ra a jiných kovů v této sraženině. Vznikající kaly byly

gravitačně sváděny do systému tří sedimentačních nádrží, kde docházelo k sedimentaci nerozpustných látek a vyčerená voda pak odtékala do místní vodoteče potoku Kurvice. Jednotlivé sedimentační nádrže byly po naplnění kalem odstavovány a vysoušením kalů sluneční energií vznikaly tzv. suché kaly (vlhkost 50-70 %) [14]. Tyto kaly byly nakládány lžícovými nakladači a odváženy automobily do železničních vagónů, které byly přistaveny k nakládací rampě v Ronově nad Doubravou. Kaly byly zpracovávány na chemických úpravárnách MAPE v Mydlovarech nebo ve Stráži pod Ralskem jako příměs k rudnině [2]

## Závěr

Hlavními výsledky poloprovozního biologického loužení uranu na štole č. 14 bylo ověření, že spontánně probíhající proces vyluhování uranu důlními vodami za účasti autotrofních bakterií lze intenzifikovat. Stupeň intenzifikace

přítom závisel na míře pozitivního ovlivnění základních intenzifikačních faktorů, mezi které patřila:

Teplota loužených partií – nejvyšší efekt loužení je při teplotách 25-30 °C, teplota by neměla klesnout pod 10 °C, jedná se o nejdůležitější intenzifikační faktor biologického loužení,

Režim vyluhování – nejvhodnější se ukázalo střídání nižších a vyšších nátoků neupravené důlní vody a jejich rozvod po výchozech dobývek,

Saturace celého objemu základek a nejbližšího okolí dobývek,

Udržení průchodnosti loužičího média základkou a okolím dobývky [2].

Na základě pozitivních výsledků loužení na štole č. 14 byly v roce 1983 zahájeny přípravné práce na biologickém loužení žilného uzlu L3 a L4 mezi 1. a 4. patrem jámy Š-56 Licoměřice, který tvořil relativně prostorově omezený a samostatný hydrogeologický systém v rámci dolu Licoměřice [2]. Následně v roce

1985 byl zahájen trvalý provoz [16]. Neupravená důlní voda byla rozváděna na 1. patře, prosakovala dobývkami až na 4. patro. Cesta roztoků byla regulována jílovitými hrázemi. Na 4. patře byl obohacený loužičí roztok jímán v hrázové čerpací stanici a čerpán na ČDOV na povrch [1].

Celé biologické loužení na ložisku Licoměřice bylo ke konci roku 1985 podstatně omezeno a v roce 1986 započaly likvidační práce. Poslední odvezené kaly počítané do bilance závodu GP IV Nové Město na Moravě byly vykazovány v roce 1989. Při těžbě uranové rudy hornickým způsobem bylo vytěženo 317,71 t uranu v kvalitě 0,065 %. Intenzifikací získávání uranu z důlních vod pomocí autotrofních bakterií bylo získáno 35,24 t uranu z gravitačně separovaných kalů v zastoupení 0,3-0,4 % U. Ačkoliv bylo biologické loužení považováno za sekundární extrakci uranu, jednalo se o racionální způsob těžby. Celkem bylo na ložisku Licoměřice vytěženo 352,95 t uranového kovu [1].

## Reference

1. Hájek, A. a kol. (1996). Plán likvidace hlavních důlních děl uranového ložiska Licoměřice (úsek Železné hory). Technická zpráva. Dolní Rožínka: DIAMO, s.p., o.z. GEAM Dolní Rožínka, 36 s.
2. Anděl, P. a kol. (1985). Závěrečná zpráva dílčího úkolu RVT č. K-15-125-012-00 „Optimalizace čištění důlních vod a kalové hospodářství“ – Biologické loužení chudých uranových rud na ložisku Licoměřice. Technická zpráva. Liberec: Československý uranový průmysl, k.p., k.p. Uranový průzkum Liberec, 52 s.
3. Cimala, Z. (1997). Po stopách průzkumu a těžby uranových ložisek na Moravě a Východních Čechách. Dolní Rožínka: o.z. GEAM Dohň Rožínka, 130 s.
4. Hájek, A. a kol. (1999). Závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu a těžby U-rud na ložiskách Březinka u Hošťálkovic a Licoměřice – I. díl. Technická zpráva. Dolní Rožínka: DIAMO, s.p., o.z. GEAM Dolní Rožínka, 295 s.
5. Anděl, P. a kol. (1981). Úvodní zpráva pro řešení dílčího úkolu oborového úkolu technického rozvoje K-15-125-012-00 „Optimalizace čištění důlních vod a kalové hospodářství“ – Biologické loužení chudých uranových rud na lokalitě Železné hory – Licoměřice. Technická zpráva. Liberec: Československý uranový průmysl, k.p., k.p. Uranový průzkum Liberec, 22 s.
6. Anděl, P. a kol. (1983). Průběžná zpráva dílčího úkolu oborového úkolu rozvoje vědy a techniky- K-15-125-012-00 „Optimalizace čištění důlních vod a kalové hospodářství“ – Biologické loužení chudých uranových rud na lokalitě Železné Hory – Licoměřice. Technická zpráva. Liberec: Československý uranový průmysl, k.p., k.p. Uranový průzkum Liberec, 61 s.
7. Jílek, R., Beranová, E. (1979). Studium podkladů pro rozvoj biologického loužení netěžitelných zásob kovů. Rudy, vol. 1979(12): 332-336.
8. Borovec, Z. (1989). Mikrobiologická oxidace sulfidických rud. Rudy, vol. 1989(9): 261-269.
9. Jílek, R., Beranová, E. (1975). Závěrečná zpráva úkolu RVT 7-01646-25 Biologické loužení chudých uranových rud lokality Licoměřice – 1. část. Technická zpráva. Brno: Výzkumný ústav veterinárního lékařství, 96 s.
10. Hartmannová, V. (1973). Sledování výskytu mikroorganismů v licoměřických důlních vodách v letním období 1972. Hornická Příbram ve vědě a technice 1973, sekce Vodní a kalové hospodářství, 125-130.
11. Jílek, R., Beranová, E. (1978). Nové přístupy k využití loužičího efektu autotrofních bakterií pro získání nebilančního kovu. Hornická Příbram ve vědě a technice 1978, sekce Chemické metody získávání kovů, 129-138.

12. Jílek, R., Beranová, E. (1975). Biologické loužení chudých uranových rud – Anotace státního úkolu. Technická zpráva. Brno: Výzkumný ústav veterinárního lékařství, 59 s.
  13. Rozhodnutí OBÚ Tišnov č.j. 1238-šv/1984/I ze dne 21.12.1984 o povolení biologického loužení základek L21 a L22 na ložisku Licoměřice. Tišnov: OBÚ, 1984.
  14. Filip, I., Šťastný, K. (1975). Závěrečná zpráva I. etapy podnikového úkolu RVT č. 7-01646-25 „Čištění důlních odpadních vod dolu Licoměřice, včetně stanovení způsobu separace uranu z těchto vod, využití biologického loužení uranu z hornin a haldoviny. Technická zpráva. Liberec: Československý uranový průmysl, o. p., o. z. Geologický průzkum Liberec, 115 s.
  15. Beranová, E., Jílek, R. (1978). Využití vícesírného a pyritického hnědého uhlí pro loužení nebilančních rud. Hornická Příbramve vědě a technice 1978, sekce Chemické metody získávání kovů, 139-150.
  16. Rozhodnutí OBÚ Tišnov č.j. 1238-šv/1984/III ze dne 21.12.1984 o povolení biologického loužení žil L3 a L4 na ložisku Licoměřice. Tišnov: OBÚ, 1984.
- 



Narozen 17. 3. 1994 v Novém Městě na Moravě. Po absolvování oboru Elektrotechnika na Střední průmyslové škole ve Žďáře nad Sázavou v roce 2013 nastoupil na Vysokou školu báňskou – Technickou univerzitu Ostrava. V roce 2016 ukončil bakalářské studium oboru Hornické inženýrství, následně přešel na obor Těžba nerostných surovin a jejich využívání, který úspěšně ukončil získáním inženýrského titulu v roce 2018. V roce 2020 získal druhý inženýrský titul z oboru Geologické inženýrství se zaměřením na oblast hydrogeologie. V současné době působí jako interní doktorand na katedře Hornického inženýrství a bezpečnosti Hornicko-geologické fakulty.

**Ing. et Ing. Michal Vokurka**