

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra environmentálního inženýrství a ochrany prostředí



**Význam monitorování hladin a složení důlních
vod v těžebních oblastech s ukončenou těžbou
polymetalických rud
(na příkladu lokality Příbram)**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Šimek

Bakalant: Zdeněk Filla

2011



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: Zdeněk Filla

obor: Územní technická a správní služba - Březnice

Název tématu: Význam monitorování hladin a složení důlních vod v těžebních oblastech s ukončenou těžbou polymetalických rud (na příkladu lokality Příbram)

Název tématu v anglickém jazyce: Importance of water table monitoring and composition of mining water in region with terminated mining of polymetal ore (case study in Pribram region)

Zásady pro vypracování:

Autor schematizuje a typizuje způsoby monitorování podzemních vod v těžebních oblastech vyznačujících se vysokou zakleslostí hladin a současně i výrony důlních vod na povrch terénu. V samostatné kapitole vyhodnotí výsledky monitorování složení důlních vod a změny hladin z vybraných důlních polí. Využije přitom údaje, které jsou k dispozici u společnosti Diamo s. p. Současně vyhodnotí trendy ve změnách těchto parametrů. Dále zhodnotí přínosy a nedostatky stávajícího monitorovaného systému a navrhne jeho případné zkvalitnění. Práce bude rozdělena na logické části 1) Úvod, 2) cíle práce, 3) rešerše 4) metodika, 5) výsledky, 6) diskuze, 7) závěr.



Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 30

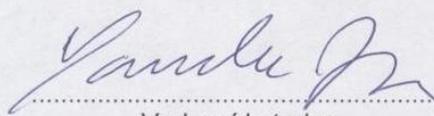
Seznam odborné literatury: Homola V., Klír., 1975: Hydrogeologie ČSSR, III. Díl, Hydrogeologie ložisek nerostných surovin, Academia, Praha
Neužil, M., 1994: Analysis of the Environmental Impact of Power Generation Technologies in the Czech Republic, Glasgow Caledonian University, másterská práce.
Autor dále využije odborné články a materiály poskytnuté firmou Diamo s. p.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Šimek

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: září 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011


Vedoucí katedry
Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.




Děkan
Prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

V Praze dne 20.9.2010

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Význam monitorování hladin a složení důlních vod v těžebních oblastech s ukončenou těžbou polymetalických rud (na příkladu lokality Příbram),, vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v seznamu literatury a po odborných konzultacích s vedoucím práce.

V Praze dne 30.04.2011

podpis autora práce

Poděkování

Děkuji Ing. Pavlu Šimkovi za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Zároveň děkuji Mgr. Petru Brůčkovi, Ph.D., vedoucímu oddělení ekologie, DIAMO s. p., o. z. SUL Příbram za poskytnutí podkladových materiálů a taktéž za jeho cenné rady k tomuto tématu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá významem monitorování hladin a složením důlních vod v oblastech s ukončenou těžbou polymetalických rud. Pro mou práci byla zvolena lokalita Příbram, která byla jednou z nejvýznamnějších těžebních oblastí polymetalických rud, především uranu. Po ukončení těžby, je nutno v daném ložisku, provést sanaci a rekultivaci, kdy monitoring důlních vod je jednou z významných částí rekultivačního procesu. Tento monitoring důlních vod trvá ještě řadu let po ukončení důlní činnosti v ložisku. Toto bude názorně uvedeno v samostatné kapitole, kde budou patrné změny ve složení důlních vod v závislosti na časovém období a jejich dekontaminaci při vstupu a výstupu na čistírnu důlních vod.

Pokud by nebyl monitoring důlních vod prováděn, došlo by na lokalitě Příbram, k samovolnému výronu kontaminovaných důlních vod na povrch terénu a s tím spojená následná kontaminace veřejné vodoteče, převážně uranem, radonem a arsenem.

Toto je však z hlediska ochrany životního prostředí nepřijatelné, a proto má monitoring hladin a složení důlních vod, svůj opodstatněný význam.

Na lokalitě Příbram je monitoring hladin důlních vod prováděn pomocí ponorné sondy k měření výšky hladin, která snímá hydrostatický tlak a průběžně dává výsledky na řídicí panel čistírny důlních vod. Na čistírně důlních vod, jsou poté čerpané důlní vody z ložiska, vyčištěny a následně vypouštěny do veřejné vodoteče.

Monitorovací systém důlních vod na lokalitě Příbram funguje spolehlivě a není nutné jej měnit. Při zpracování bakalářské práce však bylo zjištěno, že hlavním problémem na lokalitě Příbram, je příliš velké množství důlní vody a dále i teplota důlní vody, která je vypouštěna do veřejné vodoteče.

Ke zkvalitnění monitorovacího systému důlních vod na lokalitě Příbram, bych doporučoval, pravidelně sledovat srážky na této lokalitě

a monitorovací systém doplnit o zmapování průsakových vod. Prameny vytvořené touto průsakovou vodou, odvádět mimo ložisko. Tímto způsobem by nedošlo k míšení průsakových vod s vodami důlními a průsakové vody by tak byly odváděny bez nutnosti jejich následného čištění, např. do veřejné vodoteče. Samotný objem důlních vod by poté razantně klesl, klesly by i náklady vynaložené do čistíren důlních vod a došlo by tak k výraznému zkvalitnění celého monitorovacího systému důlních vod na lokalitě Příbram.

Klíčová slova

Čistírna důlních vod, uran, sanace, rekultivace, dekontaminace, ponorná sonda

Abstract

My diploma work deals with the monitoring of the mine waters and its composition in the areas where the mining of polymetallic ore has already stopped. I have chosen the area of Příbram, which is notoriously known for its mineral riches, mainly the uranium. After the mine closure it is necessary to start off the process of recultivation and sanation where the monitoring of the mine waters plays a key role in the process of recultivation. That monitoring is needed and still continues even several years after the mine closure and it will be described in greater detail in separate chapter.

Shouldn't that monitoring of mine waters been carried out it would have caused outflow of the contaminated mine waters on the surface and that would cause the contamination of water supplies by the elements of uranium, radon and arsenic.

That would be, of course, unacceptable and that is one of the reasons, why is so important to do and to pursue the monitoring of mine waters.

In the Příbram area, this monitoring is carried out by set of the immersion probes which measure the hydrostatic pressure and send these information to the control panel in the water treatment plant. At this facility, the water is purified and then flows to the public aqueduct.

In my opinion the system of the monitoring of mine waters in Příbram is functional and there is no need for changing it. While collecting materials for my diploma work I have found several problems concerning the specifics of Příbram area. One of them is quantity of mine water which flows (after going through water treatment plant) to the public aqueduct and the other is the temperature of this water.

To improve this situation I would suggest to observe rainfalls more closely and to map areas where this water comes into the contact with the mine water. The water from rainfalls should be diverted and thus

prevent that these two types of water should mix. Should we be successful in this process the quantity of mine waters would decrease considerably as well as the amount of money paid for the purifying process. In my opinion all previously mentioned steps would improve the situation of monitoring of mine waters in the Příbram area.

Key words

Water treatment plant, uranium, sanitation, recultivation, decontamination, immersion probe

Obsah

1. Úvod	12
2. Cíle bakalářské práce	13
3. Metodický postup	13
4. Literární rešerše	14
4.1 Důvody monitoringu hladin a složení důlních vod	14
4.2 Uranový průmysl	16
4.2.1 Pojem uran	16
4.2.2 Metody těžby uranové rudy	16
4.2.3 Základní popis uranového ložiska Příbram	16
4.2.4 Množství vydobytého uranu	17
4.3 Důlní vody	18
4.3.1 Definice a rozdělení důlních vod	18
4.3.2 Pohyb důlních vod	19
4.3.3 Přítoky vod do důlních děl	19
4.3.4 Vliv důlních vod na životní prostředí	19
4.4 Odvodňování	20
4.4.1 Cíl odvodnění	20
4.4.2 Druhy odvodňování	20
4.4.3 Odvodňování ložiska Příbram	20
4.5 Zatápění dolů	21
4.5.1 Hlavní důvody zaplavování dolů	22
4.5.2 Zaplavování dolů lokality Příbram	22
4.6 Význam monitorování hladin důlních vod	23
4.7 Metody měření hladin důlních vod	24
4.7.1 Měřicí úlohy	24
4.7.1.1 Kontinuální měření	24
4.7.1.2 Vyhodnocení mezních stavů	24
4.7.1.3 Ochrana proti přetečení	24
4.7.2 Přehled snímačů hladiny	25
4.7.2.1 Hydrostatické měření hladin	25
4.7.3 Monitoring hladin důlních vod na lokalitě Příbram	25
4.7.3.1 Ponorná sondy výšky hladin LMP 308	27
4.7.3.2 Výron důlních vod na povrch terénu	28
4.8 Metody monitoringu složení důlních vod	29
4.8.1 Složení důlních vod	29
4.8.1.1 Hloubková pásma důlních vod	29
4.8.1.2 Chemismus důlních vod	30
4.8.1.3 Hladinové vzorky	32
4.8.1.4 Hloubkové vzorky	33
4.8.2 Karotážní měření	34
4.9 Čištění důlních vod	34
4.9.1 Čištění důlních vod lokality Příbram	35
4.9.2 Teplota vypouštěných důlních vod	35
5. Výsledky monitorování složení důlních vod a změny hladin z vybraných důlních polí	37
5.1. Výsledky monitoringu složení důlních vod	37
5.1.1 Výsledky z šachty č. 19	37

5.1.2 Výsledky z šachty č. 11A	39
5.2 Výsledky monitoringu hladin důlních vod	41
5.3 Zhodnocení přínosů a nedostatků stávajícího monitorovacího systému	45
5.3.1 Přínosy	45
5.3.2 Nedostatky	45
5.4 Návrhy na zkvalitnění stávajícího monitorovacího systému	46
6. Diskuse	48
7. Závěr	50
8. Seznam použité literatury	52
Přílohy	55

Seznam použitých zkratek a jejich význam

VÚ - vyšetřovací úroveň (tuto hodnotu je možno překročit)

ZÚ - zásahová úroveň (překročení této úrovně se musí okamžitě hlásit příslušným orgánům)

„p“ - průměrná hodnota (tuto hodnotu je možno překročit v závislosti na daném množství odebraných vzorků).

„m“ - maximální nepřekročitelná hodnota

U_{nat} - uran

²²⁶RA - radium

RL - rozpuštěné látky

NL - nerozpuštěné látky

Cl⁻ - anion chloridový

Fe - železo

SO₄²⁻ - anion síranový

As - arsen

Cu - měď

Zn - zinek

Mn - mangan

Cr - chrom

pH - kyselost

Q - průtok

RAS - rozpuštěné látky anorganické

ČDV - čistírna důlních vod

mBq - milibecquerel (jednotka radioaktivity)

mg - miligram (jednotka hmotnosti)

šufr - mělká průzkumná šachtice do cca 50 m hloubky

RM - rezistivimetrie – měření odporu výplachu ve vrtu

TM - termometrie – měření teploty výplachu ve vrtu

1. Úvod

V tehdejší Československu představovala těžba uranu jednu z nejvýznamnějších průmyslových činností. Na území Československa se nacházela jedna z největších nalezišť uranu. Uran byl ve velkém množství vyvážen převážně do tehdejšího Sovětského svazu, krajina naší republiky byla postupně drancována a případnými sanačními a rekultivačními pracemi se nikdo nezabýval. Samozřejmě, že po ukončení těžebních činností na konci 80 let, museli nastat sanační a rekultivační práce, které trvají doposud, a budou trvat ještě řadu let. Problematika monitorování důlních vod je tak v ČR stále velmi aktuální a vzhledem k množství důlních děl na našem území, bude tato problematika aktuální i do budoucna.

Důvodem pro vypracování bakalářské práce na téma „Význam monitorování hladin a složení důlních vod v těžebních oblastech s ukončenou těžbou polymetalických rud“ bylo to, že na příkladu lokality Příbram bych chtěl vyzdvihnout část rekultivační práce, kterým monitorování důlních vod je. Na to poté navazuje sledování složení důlních vod a zajištění jejich dekontaminace na čistírnách důlních vod. Bude zde zhodnocen současný systém monitorování důlních vod na lokalitě Příbram, nejen jeho přínosy, ale naopak i nedostatky celého tohoto systému. Poznatky získané při psaní bakalářské práce, tak mohou být použity pro zlepšení monitorovacích systémů a samotného nakládání s důlními vodami ve sledované lokalitě, případně i v jiných místech, kde je s důlními vodami nakládáno.

2. Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je schematizovat a typizovat způsoby monitorování podzemních vod v těžebních oblastech vyznačujících se vysokou zakleslostí hladin a současně i výronů důlních vod na povrchu terénu. V samostatné kapitole budou vyhodnoceny výsledky monitorování složení důlních vod a změny hladin z vybraných důlních polí (šachta č. 19 a šachta č. 11A). Při tomto budou využity údaje, které jsou k dispozici u firmy Diamo, s. p., o. z. SUL Příbram. Současně budou vyhodnoceny trendy ve změnách těchto parametrů. Dále budou zhodnoceny přínosy a nedostatky stávajícího monitorovacího systému a bude navrženo jeho případné zkvalitnění.

3. Metodický postup

Při řešení této práce bylo postupováno následujícím způsobem:

- shromáždění odborných rešeršních podkladů a vytvoření rešerše, jako podklad pro zhodnocení výsledků a navrhnutí nových opatření v rámci monitoringu důlních vod
- shromáždění firemních rešeršních podkladů firmy Diamo s. p., o. z. SUL Příbram, které byly použity jako hlavní zdroj k mé bakalářské práci se zaměřením na lokalitu Příbram ve vztahu k monitoringu a složení důlních vod
- nastudování způsobu monitorování hladiny důlních vod, jejich popsání a posouzení
- nastudování způsobu měření složení důlních vod a jejich posouzení
- nastudování způsobu dekontaminace důlních vod v čistírnách důlních vod a jejich posouzení

Pro mou bakalářskou práci byla zvolena lokalita Příbramska, kdy město Příbram je též nazýváno hornickým městem a nachází se cca 60 km od Prahy, jihovýchodním směrem. Výsledky monitorování důlních vod byly použity z šachty č. 19 a šachty č. 11A, kdy v současné době se ze všech Příbramských ložisek, provádí monitoring složení důlních vod a hladin, pouze na těchto dvou ložiskách.

4. Literární rešerše

4.1 Důvody monitoringu hladin a složení důlních vod

Základním předpokladem kvalitního monitorovacího systému, jak uvádí *Šrámek a kol. (2000)*, je jeho správné navržení. Každý návrh monitorovacího systému obsahuje následující body:

- je nutno vyjít od druhu objektu či činnosti, která má být monitorována a účelu monitoringu
- počet a druh monitorovacích míst (vrtů, podzemních vod), jejich přesná lokalizace
- promyšlený a zdůvodněný návrh výstroje monitorovacích vrtů, aby odebírané vzorky splňovaly účel, ke kterému je monitoring provozován.

Dalším, kdo se zabývá důvody monitoringu důlních vod je *Bzowski (2002)*, který uvádí, že se musí provádět účinné sledování důlní vody, aby bylo poté možno hodnotit její vliv na životní prostředí.

Monitorování dolů zahrnuje instalaci fyzicko-chemických sond, pravidelné měření a kontrolu kvality odpadních vod, stejně tak jako geotechnický monitorovací systém (*Wolkersdorfen 2008*).

Útlum těžby nerostných surovin v České republice začátkem 90. let vyvolal nutnost řešit problémy souvisejících se zahlazováním následků hornické činnosti. Jak se postupně ukázalo, z dlouhodobého hlediska není nejzávažnějším problémem samotná likvidace důlních děl, ale ostré změny složení důlních vod, ke kterým dochází až po zatopení dolů a následném ustavení stabilního hydrogeologického režimu. Pochopení procesů vývoje složení důlních vod a reálný odhad jejich dlouhodobého vývoje, umožňuje dlouhodobé, ekologicky a ekonomicky efektivní řešení dopadů na životní prostředí (*Zeman 2008 in Černík 2008*).

Obdobným problémem se zabývá i *Neužil (1998)*, který uvádí, že hlavním problémem těžby uranu, je produkce pevných, kapalných a plyných radioaktivních odpadů. Kapalně radioaktivní odpady jsou tvořeny především kontaminovanou podzemní vodou, neboť při hlubinné těžbě uranové rudy je nutné čerpáním snížit hladinu podzemní vody. To je citelný zásah do hydrogeologických poměrů v dané lokalitě, který způsobuje pokles hladiny podzemní vody v širokém okolí.

Odčerpávaná důlní voda je radioaktivní a musí být před vypuštěním do vodoteče filtrována. Taktéž bazény s radioaktivní důlní vodou mohou způsobit kontaminaci povrchových vod při protržení hráze, např. vlivem intenzivních dešťů. Při vytěžení ložiska uranové rudy je nutné stále odčerpávat důlní vodu, jinak dojde k vyrovnání hladin podzemní vody a zaplavení hlubinného dolu. Výsledkem je pak kontaminace podzemních vod uranovou rudou.

Při chemické těžbě uranové rudy se používá podzemní louhování uranové rudy. Při této metodě se používají agresivní a nebezpečné chemikálie, vysoce koncentrovaná kyselina sírová (96 %), kyselina dusičná, amoniak, fluorovodík, atd. Dochází k rozsáhlé kontaminaci podzemních prostor a následně podzemních a povrchových vod (*Neužil 1998*).

Pevné radioaktivní odpady jsou tvořeny hlušinou, která vznikla při ražbě podzemních šachet a štol. Z hlušiny se vytvářely haldy, které zabírají velkou plochu, nepříznivě působí na krajinu a ovlivňují místní klimatické podmínky. Nezpevněný povrch haldy je zdrojem emisí radioaktivního prachu a radonu. V případě intenzivnějších dešťů dochází k vodní erozi a radioaktivní bahno je zanášeno do okolí, kde způsobuje znečištění a kontaminaci nejen půdy, ale i povrchových a podzemních vod. Haldy vytěžené hlušiny způsobují značné tlaky na podloží, které mohou negativně ovlivnit hydrogeologické podmínky. Plynné radioaktivní odpady jsou tvořeny zejména emisemi radonu a radioaktivního prachu, které vytváří soustava důlního větrání. Plynné radioaktivní emise znečišťují široké okolí (*Neužil 1998*).

K dalšímu problému těžby uranové rudy patří narušování hydrodynamického režimu podzemních vod a jejich kontaminace při vypouštění do povrchových toků (*Arapov 1984*).

Vzhledem k produkci radioaktivních odpadů a jejich negativnímu působení na životní prostředí, je nutné provádět vše, pro minimalizaci těchto negativních vlivů. Mezi základní metody, patří i monitoring hladin a složení důlních vod, aby bylo možno přesně stanovit obsah škodlivých látek v důlní vodě, množství samotné důlní vody a také předpokládanou dobu čištění takto znečištěné důlní vody.

4.2 Uranový průmyslu

4.2.1 Pojem uran

Uran je radioaktivní chemický prvek, kov, patřící mezi aktinoidy. Prvek objevil v roce 1789 Martin Heinrich Klaproth, v čisté formě byl uran izolován roku 1841 Eugene-Melchior Peligotem. V čistém stavu se jedná o stříbrobílý lesklý kov, který na vzduchu pozvolna nabíhá, pokrývá se vrstvou oxidů. V roce 1896 zjistil Henri Becquerel, že uran je radioaktivní. Uran je v současné době světovou strategickou surovinou, která je významná nejen z hlediska vojenského, ale především energetického (Němcová 2009).

4.2.2 Metody těžby uranové rudy

Vlastní těžba a následné zpracování uranové rudy poškozují životní prostředí. Velmi záleží na použité technologii těžby a technologické postupu při zpracování uranové rudy. Pro těžbu uranové rudy se používají tři základní metody:

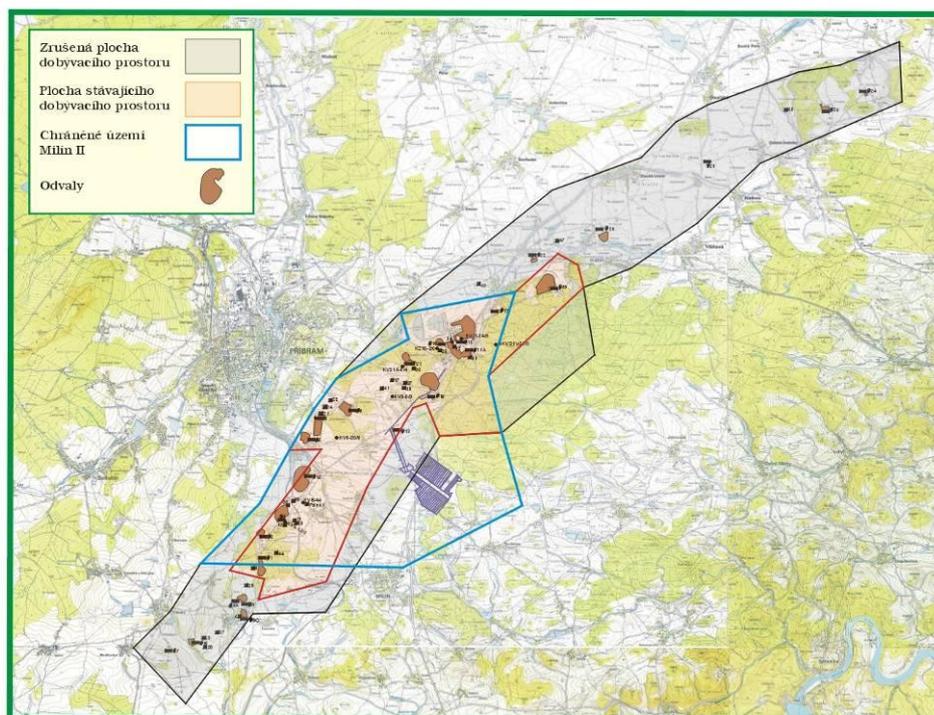
- hlubinná těžba
- povrchová těžba
- chemická těžba

Ve světě je nejvíce rozšířena hlubinná těžba uranové rudy. V České republice se používala zejména těžba hlubinná a těžba chemická (Neužil 1998).

4.2.3 Základní popis uranového ložiska Příbram

Příbramské uranové ložisko zaujímá pruh území probíhající ve směru jihozápad – severovýchod mezi Rožmitálem pod Třemšínem a Dobříší o délce cca 24 km a šířce 1,5 až 2 km, jak je vidět na obrázku č. 1. Vlastní uranové ložisko je žilným ložiskem hydrotermálního původu. Nad ložiskem se nachází několik drobnějších povrchových toků a dvě odkaliště. Územím ložiska prochází hranice mezi třemi povodími. S ohledem na morfologii terénu dostoupají důlní vody k povrchu pouze v oblasti řeky Kocáby. Horniny ložiska jsou málo propustné a ve styku s vodou stabilní, koeficient propustnosti $n \cdot 10^{-8}$ až $n \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, směrem do hloubky propustnost klesá. V oblasti ložiska nejsou žádné významnější zdroje pitné vody. Důlní vody je nutno před vypouštěním čistit zejména od zvýšeného obsahu prvků uran-radiové řady. Vody náleží k CaNaK - SO_4HCO_3 typu. Geotermický stupeň na ložisku Příbram je 34,5

m/1°C. Teplota čerpané důlní vody z jámy č. 19 je v současné době okolo 22,0 °C vlivem její poměrně vysoké dynamiky (Lusk 2008a).



Obr. č. 1 Uran-polymetalické ložisko Příbram, autor Řehoř a kol. (2006)

4.2.4 Množství vydobytého uranu

Celkem bylo v rámci dobývacích prací otevřeno v období let 1949 – 1991 přes 2500 žil, z nichž 1601 obsahovalo uranové zrudnění. Při průzkumu a těžbě bylo na ložisku vyhloubeno 41 jam (z toho 14 slepých) a vyraženo 300 km komínů, 837 km překopů a 1314 km sledných chodeb a štol. Vertikálně bylo ložisko otevřeno do hloubky 1800 m (nejhlubší jáma č. 16 dosáhla hloubky 1838 m). V rámci dobývacích prací bylo z ložiska získáno 48432 t uranu (tj. 96,5 % z celkové tonáže) a dále 6195 t olova, 2417 t zinku a 17 790 kg stříbra. Těžba byla ukončena v roce 1991 (Řehoř a kol. 2006).

Celkový objem vydobytých prostor v podzemí lokality Příbram dosáhl 44,5 mil. m³. Na 26 odvalech je uloženo cca 30 mil. m³ vytěžené hlušiny. Objemově jde o největší odvaly, jaké po těžbě uranových rud v České republice zůstaly. Největším z nich je odval šachty č. 15 s uloženými 7,5 mil. m³ hlušiny. Zásadní problém jejich sanace představuje biologická inertnost uloženého hlušinového materiálu, kdy ani po

několika desítkách let klidu nelze na jejich povrchu nalézt významný výskyt náletových rostlin (*Kafka 2003*).

Lusk (2008b) dále uvádí, že ložisko Příbram stále zůstává největším ložiskem uranu, které bylo na území České republiky dobýváno. K celkovému množství získaného uranu uvádí Lusk dokonce hodnotu 50 990 t, což představuje cca 45 % produkce na území České republiky v letech 1945 – 2008.

Lepka (2003) k tomuto dodává, že předpokládané množství vyvezeného uranu do SSSR za celé období 1945 – 1991, je téměř 100 000 tun.

4.3 Důlní vody

Voda, zdroj energie v hornictví, jeden z nejdůležitějších faktorů pro život, zemědělství, živel, který může ve své nezkrotnosti způsobit katastrofy jak na zemském povrchu, tak i v oblasti báňského podnikání, je fenoménem, který provází hornickou činnost od jejího počátku až do úplného konce – likvidace dolů. Voda v báňském průmyslu sehrávala pozitivní i negativní roli. Při přechodu těžby nerostů do hloubek bylo nezbytné najít technická řešení směřující k odvodnění důlních děl (*Kafka 2003*).

4.3.1 Definice a rozdělení důlních vod

Důlní vody jsou všechny podzemní, povrchové a srážkové vody, které vnikly do hlubinných nebo povrchových důlních prostorů bez ohledu na to, zda se tak stalo průsakem nebo gravitací z nadloží, podloží nebo boku nebo prostým vtékáním srážkové vody, a to až do jejich spojení s jinými stálými povrchovými nebo podzemními vodami (§ 40 zákon č. 44/1988 Sb. *Horní zákon*).

Další definici důlních vod uvádí ve svém díle *Homola (1975)*, který důlní vody označuje jako vody jakéhokoliv původu, které se pohybují volně důlními díly podle zákonů proudění kapalin v otevřených korytech nebo vzácněji podle zákonů proudění kapalin v potrubí.

Jak dále uvádí (*Kukutsch a kol. 2006*), je možno důlní vody v důlním díle rozlišovat na:

- tekoucí vodu
- vodu přitékající
- vodu odtékající
- vodu zaplňující uzavřené bezodtokové prostory
- vodu v prostorách s přirozeným odtokem
- vodu v prostorách s umělým odtokem

4.3.2 Pohyb důlních vod

Pohyb důlních vod v dole je usměrňován a ovládán stavebním provedením důlních děl nebo odtokových cest, regulačními prvky na nich a čerpáním, popř. samospádným odtokem vody z dolu na zemský povrch (*Homola 1975*).

4.3.3 Přitoky vod do důlních děl

Přitoky podzemních vod do důlních děl mají různou formu a charakter podle vydatnosti přítoku, hydraulického spádu v blízkosti důlního díla a podle velikosti, tvaru a četnosti dutin v hornině i jejich rozložení v prostoru. Vydatnost přítoku do důlního díla se má určovat vždy číselnými hodnotami, zpravidla v litrech za vteřinu, a to i v případech, kdy je možné určení jen s nízkým stupněm přesnosti nebo dokonce jen odhadem. Vydatnost přítoků vody do důlních děl se má měřit nejméně dvakrát ročně, na dolech se silnými přítoky nebo složitými hydrogeologickými poměry častěji. V záznamu měření se má výslovně uvádět způsob měření a hodnoty alespoň ze tří měření následujících těsně za sebou (*Homola 1975*).

4.3.4 Vliv důlních vod na životní prostředí

Vztahem důlních vod k životnímu prostředí se zabývá Grünwald (*1997*), který uvádí, že důlní vody patří k nejvíce znečištěným odpadním vodám s převládajícím anorganickým znečištěním, které mají negativní vliv na životní prostředí.

Ve většině případů se ložiska nerostných surovin nacházejí pod úrovní hladiny podzemní vody. Voda je však vesměs překážkou pro jejich těžbu a tak se musí odstraňovat čerpáním a odváděním mimo prostor těžby. Důsledkem je umělé snížení hladiny podzemní vody (*Kříž 1983*).

4.4 Odvodňování

4.4.1 Cíl odvodnění

Řešení problematiky vod v podzemí si vyžádalo nemalé prostředky, které bylo nutno vynakládat pro ražbu odvodňovacích štol, tzv. dědičných štol. Cílem odvodnění bylo zmenšit přítok vod do dolů, izolovat zatopené prostory od činných pracovišť a pravidelně udržovat rovnováhu mezi přítokem a odčerpaným množstvím vody z dolu (*Kafka 2003*).

4.4.2 Druhy odvodňování

Obecně byly hlubinné doly odvodňovány:

- samospádem, tj. vybudovaným systémem odvodňovacích (dědičných) štol
- vybudovaným systémem koncentrace vod do určitého prostoru a jejich následným čerpáním na povrch (*Kafka 2003*).

Odvodňování dolu samospádem, vybudovaným systémem odvodňovacích štol, se uplatňovalo v případě, že štola podfárala důl a samospádem odváděla důlní vody do povrchových vodotečí. Když těžba dosáhla úrovně štolového horizontu, bylo nezbytně nutné důlní vody z nižších partií dolu čerpat na úroveň odvodňovací štoly a tím zajistit možnost postupu do hloubky. Hlubinný důl, u kterého nebylo možno odvádět důlní vody pomocí štoly, musel mít od průzkumu až po výstavbu otvirkových důlních děl a základního rozfárání, vybudován systém odvodnění. Při průzkumu a výstavbě se provádělo pravidelné odčerpávání kumulované vody pomocí čerpadel. Dle výkonu instalovaných čerpadel se vody čerpaly přímo z pracoviště na povrch, nebo u větších hloubek kaskádovým způsobem (*Kafka 2003*).

4.4.3 Odvodňování ložiska Příbram

Odvodňování uranového ložiska Příbram probíhalo v době těžební činnosti, čerpáním veškerých důlních vod do dekontaminačních stanic na šachtách č. 2, č. 9, č. 15 a č. 11A. Zde probíhalo čištění těchto důlních vod a následovalo vypouštění do veřejné vodoteče (*Kafka 2003*).

Důlní díla ložiska Příbram Březové hory, na kterých se však netěžil uran, jsou propojena Dědičnou štolou na úrovni 2. patra s důlními díly bohutínského revíru.

Všechna tato důlní díla jsou Dědičnou štolou odvodňována do říčky Litavky u Trhových Dušníků. Od zatopení obou ložisek zhruba v roce 1992 slouží štola k plynulému a kontrolovanému odtoku důlních vod z revíru. Z celkové délky systému Dědičné štoly 27 975 m, trvale slouží úsek o délce cca 12 000 m. V rámci likvidační práce byla provedena oprava a úprava vybavení Dědičné štoly. Kontrolním místem pro Dědičnou štolu je jáma Drkolnov, kde lze čerpat v případě potřeby pitnou vodu pro město Příbram, jelikož důlní voda zde parametry pitné vody splňuje. K odvodnění dolů na Příbramsku dále sloužily štola Karla Boromejského, štola Josef – Marie a Květenká štola (*Kafka 2003*). K nejvýznamnějším akcím 18. století na Příbramsku patřilo vybudování Dědičné štoly. Její ražba trvala 70 roků, byla prováděna z několika míst současně a přes náročnost tohoto díla a komplikovanost měřičských prací je vybudována velmi přesně (*Šimůnek a Nováčková 1980*).

4.5 Zatápění dolů

V momentě, kdy je ukončena těžba v podzemním dole, jeho údržba obvykle skončí a čerpadla, která důl odvodňovaly, jsou vypnuta. Tam, kde v nejnižších patrech neexistuje odvodňovací drenáž, bude důl zatopen povrchovou nebo podzemní vodou. V závislosti na otevřeném prostoru, propustnosti země a typu zaplavení (kontrolované, nekontrolované, monitorované) může trvat zaplavení dolu několik měsíců nebo i několik desetiletí (*Wolkersdorfen 2008*).

Podle principů udržitelné těžby, je nezbytné, aby byly navraceny do původního stavu hydrogeologické podmínky, které existovaly před započítím těžby, poté, co byl důl zaplaven. Dále zásobárny pitné vody nebo potenciální zásobárny pitné vody, musí být ochráněny. Povrchové prameny nesmí být kontaminovány důlní vodou a znečištění by mělo být redukováno na minimum. Ve většině případů bývá důlní voda značně znečištěna a je velké riziko, že může znečistit i výše zmíněné zásobárny povrchové i podpovrchové pitné vody. Za tímto účelem je třeba rozhodnout, zda je lépe uspíšit nebo naopak zpomalit proces zaplavení dolu. V případech, kdy jsou doly zaplaveny rychle, dojde k vyloučení disulfidů z procesu zvětrávání a množství polutantů je rychle redukováno (*Wolkersdorfen 2008*).

Rychlost zaplavování dolů souvisí nejenom s hydrogeologickým podložím daného dolu, ale závisí také na rozsahu těžby, která toto přirozené prostředí narušila (*Whitworth 2002*).

4.5.1 Hlavní důvody zaplavování dolů

Hlavními důvody zaplavování dolů jsou:

- těžba již není více rentabilní
- všechny nerostné materiály již byly vytěženy
- nehoda, válka, politické důvody
- geotechnická stabilita opuštěného dolu
- prevence disulfidové oxidace
- bezpečnostní důvody

Kontrolované zaplavování dolů probíhá v oblastech, kde mohou být ohroženi znečištěnými důlními vodami lidé nebo životní prostředí nebo kde by vzestup takovýchto vod hrozil. Kontrolované zaplavování dolů automaticky neznamená monitorování tohoto procesu. Samozřejmě, že téměř ve všech dolech, které byly zaplaveny kontrolovaným způsobem, byly hladiny vod a množství odpadních vod, monitorovány a měřeny (*Wolkersdorfen 2008*).

4.5.2 Zaplavování dolů lokality Příbram

Zatápění dolu bylo prováděno postupně, řízeným ukončováním provozu jednotlivých čerpacích stanic nebo celých čerpacích systémů, přičemž byla sledována dvě základní hlediska:

- bezpečnost pracovníků při provádění likvidačních prací v podzemí a při výstavbě podzemního zásobníku plynu
- minimalizace finančních nákladů na provoz a údržbu čerpacích kapacit (*Lusk 2008a*).

Po ukončení výstavby podzemního zásobníku plynu v polovině roku 1998 dochází k zatápění přirozenými přítoky vod. Konečná úroveň zátopové hladiny byla stanovena na kótě 434 m n. m., která odpovídá úrovni terénu pod hrází vodárenské nádrže Drásov - místo nejpravděpodobnějšího výronu důlních vod přirozenou cestou. Tabulka č. 1 nám ukazuje rychlost zatápění ložiska a velikost přítoků do ložiska od

ukončení důlních prací. Je nutné přihlédnout k tomu, že stanovení volných prostor je závislé na údajích o vydobyté hornině, rozměrech důlních děl, vypouštění zakládek atd. (Lusk 2008a).

Hloubková úroveň	Celkový objem důlních prostor do hloubkové úrovně	Zatopeno mezi intervaly	Datum dosažení úrovně hladinou důlních vod	Počet dnů zatápění intervalu	Rychlost zatápění		Objem zatopených důlních prostor
m n. m.	m ³	m ³	dd.mm.rrrr		m ³ .den	l.s ⁻¹	%
419	675000	325000	25.10.2005	71	4577,46	53	97
400	1000000	1330000	15.8.2005	272	4889,71	57	96
300	2330000	1970000	16.11.2004	360	5472,22	63	90
200	4300000	1866000	22.11.2003	311	6000,00	69	81
100	6166000	2374000	15.1.2003	320	7418,75	86	73
0	8540000	2130000	1.3.2002	340	6264,71	73	62
-100	10670000	2880000	26.3.2001	390	7384,62	85	53
-200	13550000	1850000	1.3.2000	291	6357,39	74	40
-300	15400000	2150000	15.5.1999	291	7388,32	86	32
-460,7	17550000		28.7.1998				

Tab. č. 1 Rychlost zatápění ložiska a velikost přítoků do ložiska, autor Lusk (2008a)

4.6 Význam monitorování hladin důlních vod

Kafka (2003) uvádí, že okysličené povrchové i podzemní vody prosakují do dolu a urychlují zvětrávání zejména sulfidů a dalších minerálů ložisek a okolních hornin. Důlní vody se tak stávají vodami kyselými, síranovými, značně mineralizovanými, s vysokým obsahem železa. Na většině rudných ložisek obsahují i významné množství těžkých kovů a dalších prvků, zvláště arzenu. Obsahy arzenu dosahující až deseti procent byly zjištěny v krasových vodách na bázi křídových sedimentů kutnohorského revíru u obce Libenice. Naopak, na některých lokalitách, jako Tisové, kovářské aj., slouží přetékající a málo mineralizované vody, jako zdroj pitné vody. Uran a radium jsou pak typickými kontaminanty z uranových ložisek. Důlní vody tak mohou být při nekoordinovaném a neorganizovaném výtoku na povrch, možným zdrojem znečištění povrchového vodního režimu. Z dlouhodobého pohledu se tedy stěžejní environmentální problémy na ložisku Příbram soustřeďují do oblasti nakládání s vodami a z tohoto důvodu je velmi důležité monitorovat hladiny důlních

vod, aby se předešlo těmto případným nekontrolovaným a nechtěným výtokům na povrch.

4.7 Metody měření hladin důlních vod

S postupující automatizací technologických procesů se stále rozšiřuje použití snímačů a vyhodnocovacích systémů pro měření výšky hladin kapalných látek. Trendy při řešení automatizačních úloh směřují k bezdotykovému měření založenému na radarovém nebo ultrazvukovém principu. Technický pohled na problém se však často střetává s ekonomickým hlediskem a pak se s výhodou uplatní řešení založené na principu kapacitním nebo hydrostatickém. Mimo to je v určitých aplikacích výběr měřících metod velmi omezený. Takto je tomu i při měření výšky hladin ve vrtech, kdy lze použít pouze hydrostatický princip měření výšky hladiny (*Šilhavý 2010*).

4.7.1 Měřicí úlohy

Základní úlohy měření výšky hladiny jsou:

- kontinuální měření
- vyhodnocení mezních stavů
- ochrana proti přetečení

4.7.1.1 Kontinuální měření

Při kontinuálním měření je měřená výška vyhodnocována a převáděna na elektrický signál, který může být přímo zobrazován, zaznamenáván nebo zaveden do regulačního systému. Kontinuální měření se používá pro všechny druhy kapalin i sypkých látek (*Šilhavý 2010*).

4.7.1.2 Vyhodnocení mezních stavů

Úkolem při vyhodnocování mezního stavu je signalizovat dosažení jedné konkrétní výšky hladiny. Dosažení mezního stavu je obvykle indikováno skokovou změnou výstupního signálu čidla nebo přepnutím kontaktu relé (*Šilhavý 2010*).

4.7.1.3 Ochrana proti přetečení

Ochrana proti přetečení je zvláštním případem vyhodnocení mezního stavu. Používá se zejména u zásobníků ropných a chemických produktů. Jejím cílem je zabránit přeplnění zásobníku a úniku jeho obsahu do okolí v případě chybné funkce regulačního systému nebo selhání obsluhy (*Šilhavý 2010*).

4.7.2 Přehled snímačů hladiny

Snímače hladiny dělíme do následujících kategorií:

- Mechanické
 - plovákové hladinoměry
 - hladinoměry s ponorným tělesem
 - vibrační a vrtulkové snímače
- Hydrostatické
 - přímé měření hydrostatického tlaku
 - měření s probubláváním
- Elektrické
 - vodivostní
 - kapacitní
 - fotoelektrické
- Fyzikální
 - ultrazvukové
 - radarové
 - s radioaktivním zářičem
 - s měřením přenosu tepla (*Kadlec a kol. 2008*)

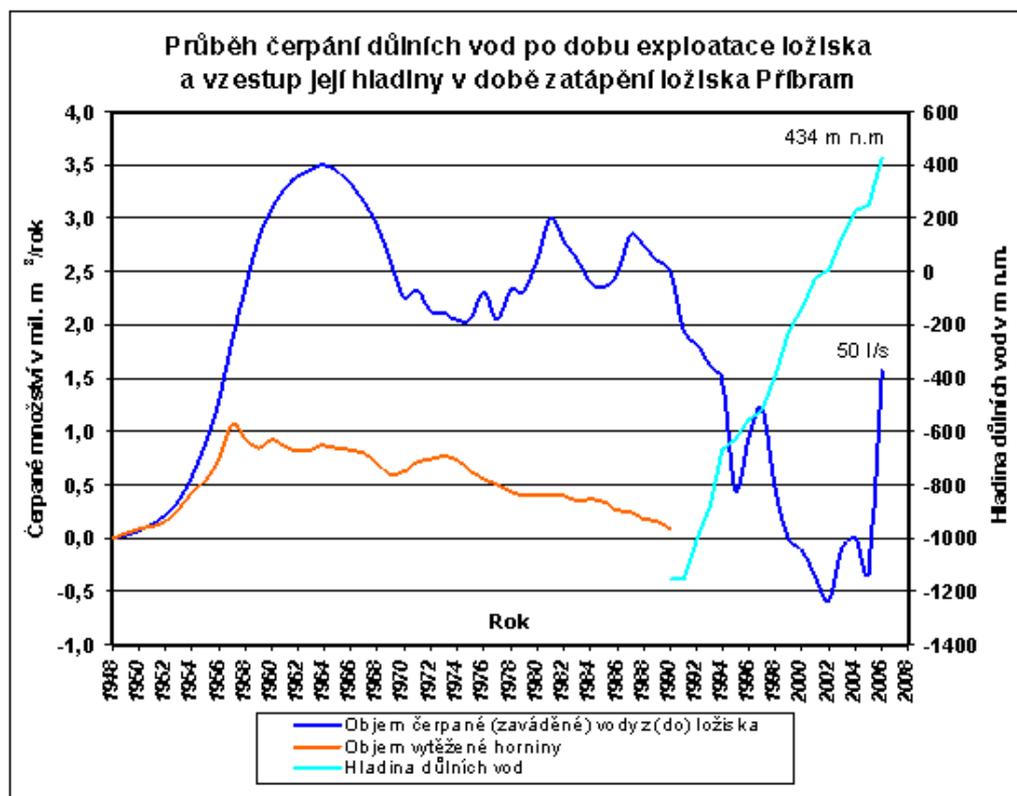
4.7.2.1 Hydrostatické měření hladin

Hydrostatický způsob měření hladin se využívá při monitorování hladin důlních vod v zatopených dolech. K samotnému měření se využívá ponorná sonda, která snímá hydrostatický tlak.

4.7.3 Monitoring hladin důlních vod na lokalitě Příbram

Do zahájení provozu dekontaminační stanice čistírny důlních vod Příbram II byla hladina sledována v přibližně čtvrtletních intervalech na jámě č. 11A a orientačně na jamách č. 13, 15, 16 a 19. Objem přitékajících vod byl vypočítáván na základě znalostí o volných objemech důlních děl v úrovni rozdílu hladin a o rychlosti stoupání hladiny důlních vod. Vzhledem k tomu, že není jasný objem důlních děl na mělkých (starých) patrech je výpočet méně přesný právě v období těsně před dosažením určené zátopové úrovně. Toto je znázorněno na obrázku č. 2, kdy je třeba ještě dodat, že čerpané množství v záporných hodnotách představuje převahu umělé dotace před čerpáním důlních vod (*Lusk 2008a*).

Od roku 2005, kdy došlo k plnému zatopení ložiska Příbram, se hladina důlní vody mění jen v povolených mezích a udržuje se v daném rozsahu čerpáním.



Obr. č. 2 Průběh čerpání důlních vod po dobu exploatace ložiska a vzestup její hladiny v době zatápění ložiska Příbram, autor Lusk (2008a)

Monitoring hladin důlních vod byl na lokalitě Příbram, sledován již od počátku zatápění dolů, kdy toto zajišťovala firma Geotrend Slaný. Měření hladin bylo prováděno karotážní soupravou GEOTREND s hloubkovým dosahem 1400 m. K vlastnímu měření byla používána karotážní sonda RM/TM, která využívá skutečnost, že teplotní a elektrické vlastnosti vzduchu nad hladinou, jsou odlišné od těchto vlastností na hladině a pod ní. Dalším důvodem použití této sondy byla skutečnost, že byl požadován průběh teploty v celém sloupci vody v jámě. Odběr vzorků vody byl prováděn speciálním elektronicky řízeným odběrákem, který umožňuje odebírání vody v libovolně určené hloubce. Hloubka měření, resp. odběru vody, je snímána optoelektronickým snímačem, jehož odečítání je spojeno s odvalem měřícího kolečka o přesném obvodu, přes které je zapouštěn a těžen karotážní kabel. Chyba měření hloubky je do 50 cm na 1000 m kabelu, tj. do 0,05%. (Diamo 2004).

V současné době je již monitoring hladin důlních vod na lokalitě Příbram prováděn pomocí sondy na kabelu, která snímá hydrostatický tlak a průběžně dává výsledky na řídicí panel čistírny důlních vod. K tomuto monitoringu se používá nerezová ponorná sonda výšky hladiny zn. LMP 308 od firmy BD Sensors.

4.7.3.1 Ponorná sonda výšky hladin LMP 308

Ponorná sonda výšky hladin LMP 308, která je znázorněna na obr. č. 3, je určena ke kontinuálnímu měření výšky hladin kapalin, kalů, suspenzí a emulzí slučitelných s nerezovou ocelí 17348 a 17350. Pouzdro je z nerezové oceli 1.4571, membrána z 1.4435. Rozsah je od 1 až 250 m vodního sloupce. Teplota měřeného média je v rozsahu od -20 °C až po +70 °C. Pro zjednodušení údržby a skladování sond je možno snadno prostřednictvím speciálního konektoru oddělit kabelový díl. Tak jsou vyloučeny nákladné elektromontážní operace při případné záměně sond (*BD Sensors*).



Obr. č. 3 Ponorná sonda výšky hladiny zn. LMP 308 (BD Sensors)

Sondu je možno nasadit v těchto aplikačních oblastech:

- čističky odpadních vod, úpravy vod
- měření hladin ve studních a v otevřených nádržích
- monitoring hladin spodních vod

- měření hladin na vodních tocích a přehradních nádržích

Základním prvkem ponorné sondy je vlastní tlakové čidlo v nerezovém pouzdře s navařenou nerezovou oddělovací membránou, v plastovém pouzdře s navulkanizovanou oddělovací membránou. Médiu je možno přizpůsobit materiál kabelu a konstrukci jeho ochrany. Hydrostatický tlak přímo úměrný výšce hladiny kapaliny nad oddělovací membránou je přenášen prostřednictvím náplně inertního oleje na měřicí polovodičový čip. Na čipu je polovodičovou technologií vytvořen tenzometrický můstek, jehož výstupní signál je teplotně kompenzován a upraven na standardní elektrický signál např. 4 až 20 mA. Výhodou této sondy je nízká chyba vlivem teploty, vynikající linearita, dlouhodobá stabilita, přesnost a možnost ochrany kabelu pružnou nerezovou ochrannou trubicou (*BD Sensors*).

4.7.3.2 Výrony důlních vod na povrch terénu

K výronu důlních vod na povrch terénu dochází na lokalitě Příbram šufrem č. 55. Jsou zde pravidelně odebrány kontrolní vzorky. Výron je však tak zanedbatelný, že v odebraných vzorcích je velké množství kalů a bahna a není tak možno stanovit obsah jednotlivých kontaminantů. Pro monitoring důlních vod nemá tento výron žádný zásadní význam.

V roce 2006, při povodňovém stavu došlo k naplnění odkaliště a část nečištěných, ale povodní silně zředěných vod, se dostalo do řeky Kocáby. Tato situace již ale v současné době nemůže nastat, jelikož byla přijata opatření na odkališti Bytíz, včetně možnosti přepustit tyto vody do podzemí.

Vzhledem k těmto skutečnostem se provádí i monitoring složení povrchových vod, které by mohly být kontaminované důlními vodami, při jejich případném výronu na povrch terénu. Pravidelně jsou odebrány kontrolní vzorky.

Dále v průběhu vydatných dešťů dochází k průsaku dešťových vod do podzemí a tím k navýšení hladiny důlní vody, kterou je poté nutno čistit. Ideálním východiskem by bylo monitorovat tyto dešťové vody, respektive se snažit zmapovat a zachytit průsaky těchto vod, do vod důlních.

4.8 Metody monitoringu složení důlních vod

Monitoring složení důlních vod se provádí na vstupu důlních vod do čistírny důlních vod a dále poté na výstupu těchto vod z čistící stanice.

Lusk (2008a) dále uvádí, že z měření provedených na uranových ložiscích Příbram, je patrné, že v historicky krátké době dojde, po počátečním prudkém nárůstu k výraznému poklesu obsahu hlavních kontaminantů v důlní vodě. Lze říci, že období ustalování hydrochemického režimu odpovídá zhruba 15 letům.

4.8.1 Složení důlních vod

Po ukončení těžby a zatopení dolu se v podzemí vytváří rovnovážný chemický systém mezi vodou a okolními mineralizovanými horninami. Statické zásoby stařinových vod jsou většinou značně mineralizovány a vertikálně diferencovány. Ve spodních částech stařin převládají vody chloridové a karbonátové. V této etapě jsou největším nebezpečím pro znečištění povrchových vod náhlé, neočekávané a nekontrolované výrony vod ze zatápěného podzemí dolů podél geologických a tektonických struktur nebo starými důlními díly (*Kafka 2003*).

4.8.1.1 Hlubková pásma důlních vod

V oblastech hlubinných, ale i povrchových dolů dochází po jejich zatopení k pozvolné stabilizaci režimu důlních vod. Dochází k proplachování důlních děl a rozvolněného horninového masivu, resp. zaplavování dříve dlouhodobě osušovaných důlních prostor. V počáteční fázi zatápění dolů dochází k rozpouštění solí usazených v důlních dílech a v rozvolněných partiích hornin, dlouhodobě vystavených oxidaci. V době po zatopení ložiska je konečná hladinová úroveň udržována vyváděním nebo přirozeným výtokem důlních vod v objemu rovnajícím se jejich přirozenému přítoku. Objem obvykle kolísá v závislosti na srážkových poměrech v oblasti. Dynamický režim vod v celém ložisku se stabilizuje. Laterální proudění vod se děje pouze po průběžných horizontálních dílech s nejmenším odporem a to ve směru k jejich drenážnímu místu. Již v tomto okamžiku lze vyčlenit tři hlubková pásma důlních vod v ložisku (*Grmela 2009*).

- **Pásmo dotace průsakovými atmosférickými vodami.** Srážkové vody tvoří přihladinovou vrstvu vod se silně sníženou koncentrací rozpuštěných látek.

Pokud jsou důlní díla odvodněna přirozeným výronem do terénu, dochází k relativně rychlému ustálení rovnováhy a vytékající vody se kvalitou blíží srážkovým vodám, i když v hlubších partiích dolu mají důlní vody vyšší koncentrace látek (*Grmela 2009*).

- **Pásmo drenážních důlních děl** odvádějících vody k místu jejich vyvedení. Příklad ložisko Příbram, důlní vody vyváděny z jámy č. 19 na okraji ložiska, která je propojena s důlními díly prakticky až na 15 patře, dochází k promývání obrovských mas důlních vod a dosažení jejich kvality na úrovni možné k vypouštění do vodoteče bez čištění je řádově v desítkách let (*Grmela 2009*).

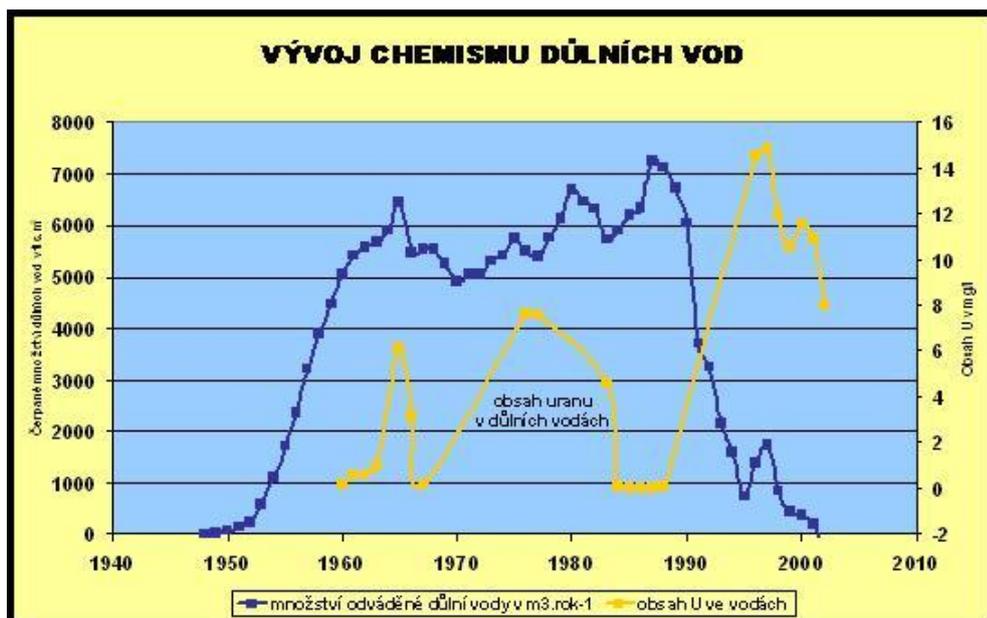
- **Pásmo stagnující vody hlubokých pater** se nalézá v hlubokých partiích ložisek a jsou prakticky bez pohybu. Pouze termické proudění může ve volných vertikálních hlavních důlních dílech vynášet tuto vodu do pásma drenážních důlních děl s dynamickým režimem (*Grmela 2009*).

4.8.1.2 Chemismus důlních vod

Chemismus důlních vod se neustále mění jednak míšením různých vod s odchylným složením, jednak znečišťováním různými provozními a odpadními látkami, rozpustnými zplodinami oxidace hornin, ložiskové výplně i provozních a stavebních materiálů. Na změnách chemismu důlních vod se často podílí i bakterie, kvasinky a jiné jednoduché organismy (*Homola 1975*).

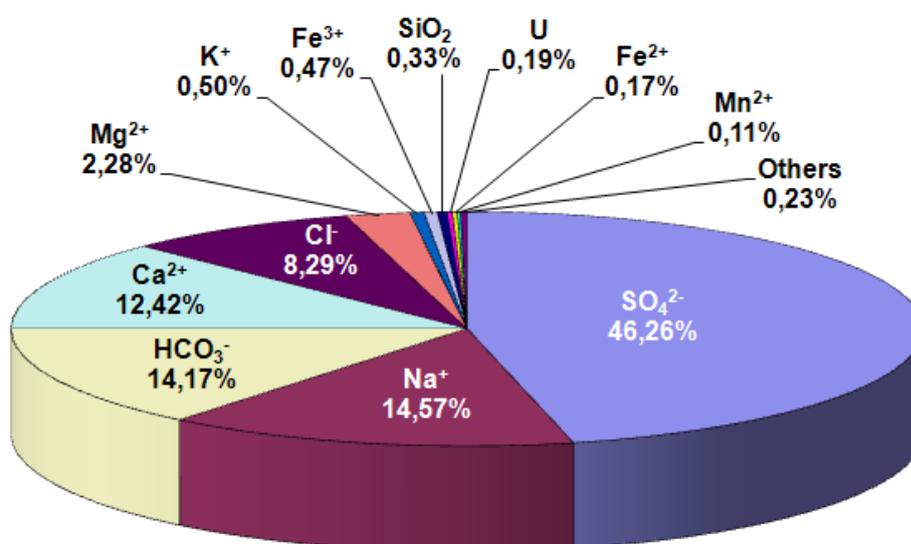
Mineralizace důlních vod bývá nízká, vody jsou hydrokarbonátového typu, pH 7,3 – 7,5 s teplotou 9 – 13 °C (na ložisku Příbram jsou však vody o teplotě až okolo 28 °C). Chemické složení vod je dáno složením povrchových vod a výsledkem interaktivních procesů s horninovým prostředím, ve kterém vody cirkulují. Obsah uranu v důlních vodách se pohybuje v rozmezí $1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-2}$ g/l. Množství radonu v důlní vodě je značně proměnlivé (*Hájek 2003*).

V průběhu zatápění hlubinných dolů v rámci jejich likvidace dochází k dalším významným změnám obsahu rozpuštěných látek ve vodách (uran, radium, železo aj.), kdy se několikanásobně zvyšuje jejich obsah a to zejména v době, kdy výrazně převládá oxidační prostředí. Na obrázku č. 4 jsou zobrazeny změny obsahu uranu v důlních vodách od počátku exploatace až po likvidaci dolů zatopením sumárně za ložiska Litoměřice, Vítkov, Zadní Chodov, Okrouhlá Radoň a Příbram (*Hájek 2003*).



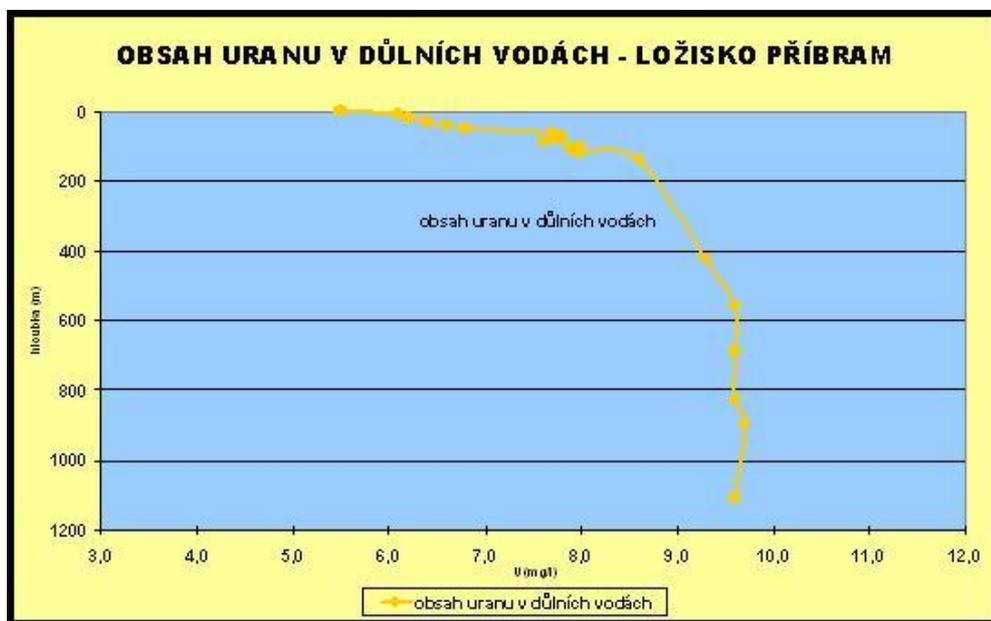
Obr. č. 4 Obsah uranu v důlních vodách, autor Hájek a kol. (2003)

Dle zprávy *Lusk (2008b)* obsahovala čerpaná důlní voda v roce 2008 na vstupu do dekontaminační čistící stanice na jámě č. 19 v průměru $7,42 \text{ mg.l}^{-1} \text{ U}$, $1275 \text{ mBq.l}^{-1} \text{ Ra}^{226}$, $14,10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Fe}$, $4,68 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Mn}^{2+}$, $171,26 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Cl}^{-}$, $1905,92 \text{ mg.l}^{-1} \text{ SO}_4^{2-}$ celkový obsah rozpuštěných látek je 3620 mg.l^{-1} . Procentuální vyčíslení je znázorněno na obrázku č. 5. Tyto hodnoty jsou vypočteny na základě denních stanovení. Denně jsou na vstupu i výstupu sledovány všechny ukazatele, pro které byly stanoveny správnými orgány závazné výstupní limity. Minimálně 1x ročně je prováděn komplexní rozbor všech látek, které jsou v důlní vodě obsaženy.



Obr. č. 5 Minerální složení důlních vod lokalita Příbram, autor Lusk K. (2008b)

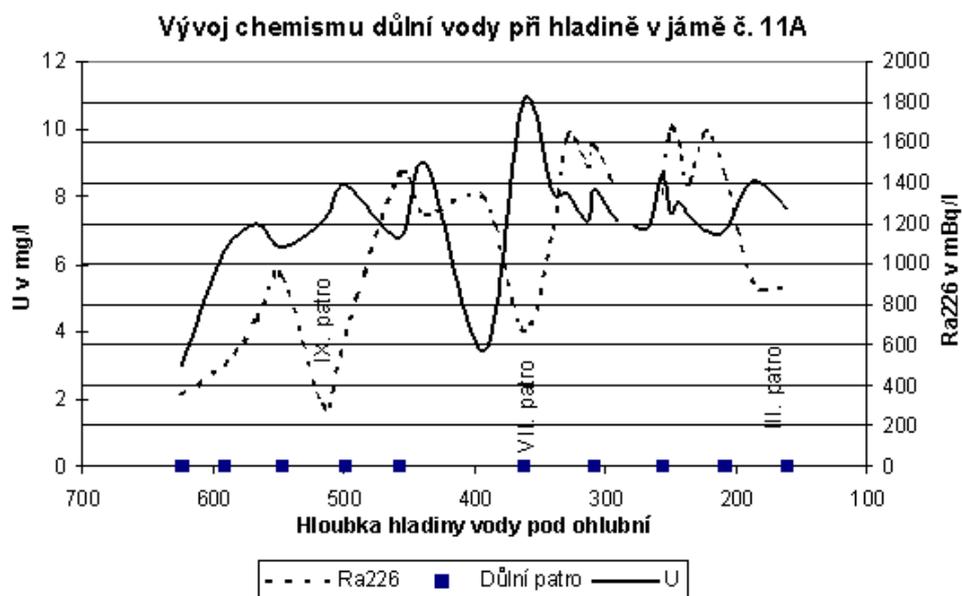
Obsah uranu v důlních vodách se významně mění (zvyšuje) s hloubkou a zejména po ustálení vodního režimu dochází k výrazné vertikální stratifikaci vod v zatopeném dole. Tato skutečnost je znázorněna na obrázku č. 6, kde je zachycen ještě neustálený stav důlních vod v době zatápění ložiska Příbram (Bedřich 2006).



Obr. č. 6 Příklad změn obsahu uranu v důlních vodách v zatopeném dole v závislosti na hloubce, autor Kalous a Zeman (2004)

4.8.1.3 Hladinové vzorky

Při každém měření úrovně hladiny je z ní, nebo těsně pod ní, zároveň odebírán vzorek důlní vody. Charakter této vody dokladuje rovnováhu mezi průsakovými srážkovými vodami a důlní vodou v době, kdy není dynamika vody ovlivněna přítokem vody ze vzdálenějších částí ložiska. Na obrázku č. 7 je patrný tento vliv v úrovních X., VII. a III. patra dolu (Lusk 2008a).



Obr. č. 7 Vývoj chemismu důlní vody při hladině v jámě č. 11A

Do doby než dostoupá hladina vody v jámě na úroveň dalšího patra, dochází k nátoku vody do ní ze spodních pater. V tělese jámy se projevuje míchání vod hlubších, starších a tedy mineralizovanějších s vodami průsakovými – koncentrace látek stoupá. Při dosažení dalšího patra dojde k bočnímu propojení rozsáhlejší oblasti a zároveň poklesne rychlost stoupání hladiny. Tehdy převládne vliv průsakové vody a vody stékající vlastní jámou nad vodami hlubších partií již zaplaveného dolu a koncentrace látek rapidně klesá. Stagnace charakteru vody zhruba od hloubky 350 m pod ohlubní je způsobena zastavením dynamiky proudění vlivem přerušování komunikace se vzdálenými prostory po uzavřených patrových chodbách mělkých pater – v jámovém stvolu dochází k ustálení režimu konvekčního tepelného proudění s ředěním vodou srážkovou (Lusk 2008a).

4.8.1.4 Hloubkové vzorky

Cílem hloubkově orientovaného vzorkování je získání znalostí o vertikální a horizontální geochemické zonálnosti důlních vod. Při provádění tohoto měření na jámě č. 19 bylo zjištěno, že je zřetelný vývoj rozvrstvení vod v době zatápění dolu. Dochází přitom zde k přesunutí hlavního směru transportu méně koncentrovaných vod z dolového pole na vyšší patro a zvýšení mocnosti stagnující, více koncentrované zóny u dna otevřeného ložiska. Laterální zonálnost byla patrná z rozdílu hloubkového rozložení koncentrací, která byla provedena mezi jámami č. 19 a č. 15, vzájemně vzdálenými 7,4 km (Lusk 2008a).

4.8.2 Karotážní měření

K odběru vzorků podzemních vod se používá k těmto účelům speciálně vyvinuté karotážní odběrné zařízení. Nosné lanko s ovládacími kabely, na které je vzorkovač zavěšen, je navinuto na vrátku s přesným snímáním dosažených hloubek, tahoměrem a snímáním rychlosti spouštění přístroje. Celé zařízení je umístěno na nákladním automobilu, speciálně upraveném pro hlubinný výzkum (*Lusk 2008a*).

Podle dlouholetých zkušeností jsou pro určování stratifikace důlních vod nejvhodnější karotážní metody rezistivimetrie a termometrie. Termické proudění bylo pomocí termometrického karotážního měření zaznamenáno prostřednictvím jámových stvolů a otevřených důlních patrových chodeb, které v závěrečné fázi exploatace ložiska zprostředkovávaly oběh důlních větrů. Termometrická křivka ukazuje na dva separované konvekční proudy vod v ložisku, kdy do cirkulace jsou zapojeny systémy otevřených důlních chodeb. Do 9. patra se projevuje mísení vody přitékající z povrchu s vodou ohřátou v systému hlubších důlních prostor. Na 9. patře přitékají studené vody z důlních chodeb a klesají až na 15. patro, kde vstupují opět do důlních chodeb. Toto proudění (chladných vod) do systému 15. patra strhává s sebou vzestupný proud teplých hlubinných vod. Teplota vod se vyrovnává a tyto jámy č. 11A sestupují na 20. – 23. patro a ohřívají se. Jsou převedeny do jámy č. 19 a termický okruh se uzavírá. Rezistivimetrie svědčí o vodivě homogenním prostředí s výjimkou hladinového mísení s málo mineralizovanými srážkovými vodami do 200 m pod hladinou (*Lusk 2008a*).

Pomocí tohoto měření je možné prognózovat kvalitu nátokových vod do dekontaminační a čistící stanice. Ložisko Příbram má k tomuto všechny podmínky a poznatky takto získané, je možné uplatnit i na ložiscích zatápěných či již zatopených (*Lusk 2008a*).

4.9 Čištění důlních vod

Voda obecně patří k nejzranitelnějším a také nejvíce ovlivněným složkám životního prostředí v místech po těžbě a zpracování nerostných surovin. Ochrana povrchových a podzemních vod v průběhu těžby je velmi náročná, stejně jako jejich následná dekontaminace a sanace. Na mnoha lokalitách dochází po likvidaci důlních děl

k přetoku důlních vod některým z úvodních důlních děl nebo k jejich výronu v místech hydraulického propojení. Tam, kde chemické složení, ovlivněné horninovým prostředím, neumožňuje důlní vody vypouštět do veřejných vodotečí, jsou zřizovány čistící stanice. Ty musí zajistit takový stupeň čištění, aby voda splňovala vodohospodářským orgánem stanovené podmínky (*Kafka 2003*).

Za účelem snižování hladiny spodní vody během provozu dolu se odčerpávají velká množství vody do řek, potoků nebo jezer. V ČR došlo v důsledku nedostatečného čištění odpadních vod dolu Hamr do roku 1989 i ke kontaminaci sedimentů řeky Ploučnice a záplavového území v její nivě v délce zhruba 30 km až k jejímu ústí do Labe v Děčíně. Kontaminována je plocha o výměře celkem 6768 ha. Dávkový příkon záření gama dosahuje na některých místech hodnot až 3,1 mGy/h, což je třicetinásobek přirozených hodnot (*Diehl 1995*).

4.9.1 Čištění důlních vod lokality Příbram

Na lokalitě Příbram jsou v současné době využívány k čištění důlních vod dvě čistírny, označeny jako čistírna důlních vod I, které je na šachtě č. 11A, kromě důlních vod z této jámy se zde čistí rovněž i povrchové vody bezejmenné vodoteče v oblasti Bytíz a odkalištní vody, vyčištěná voda z této čistírny je odváděna do dubeneckého potoka a dále čistírna důlních vod II, která byla nově vybudována na šachtě č. 19. Vyčištěná voda z této čistírny je odváděna gravitačně štolou a potrubím se zaústěním do řeky Kocáby. Rovněž jsou využívána dvě odkaliště označená jako Bytíz I a Bytíz II. Odkaliště Bytíz II je částečně zrekultivované.

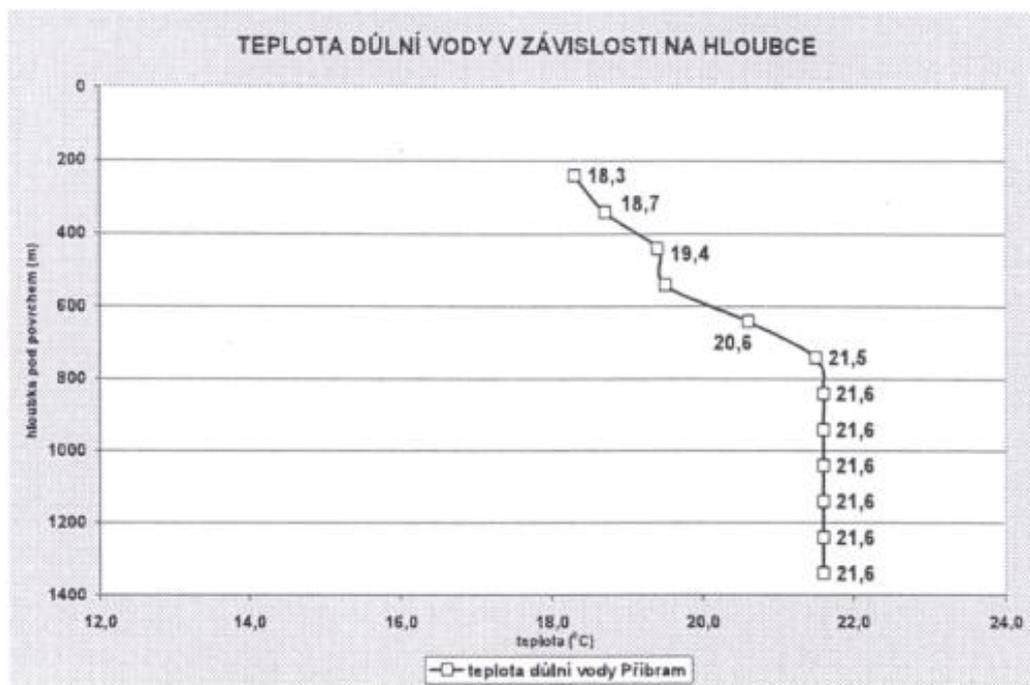
Pokud již v budoucnu nebude potřeba provádět čištění důlních vod, nechá se nastoupat zátopová hladina do úrovně vybudované odvodňovací štol, která je 434 m n. m. Důlní voda poté bude samovolně odtékat z ložiska do řeky Kocáby. Tato možnost však vzhledem k vývoji množství uranu v důlní vodě, připadá nejdříve za 30 až 40 let, do té doby bude nutno důlní vodu čistit (*Kuba a kol. 2009*).

4.9.2 Teplota vypouštěných důlních vod

Kuba a kol. (2009) se dále ve své knize zabývá jedním z problémů, kterým je vysoká teplota důlní vody vypouštěné z čistírny důlních vod, která dosahuje cca 21 – 22 °C.

Problém způsobuje nemalé komplikace společnosti, která provozuje rybníkářství na rybnících Kocáby (Červený, Prostřední, Homolka).

Skutečná teplota důlních vod je pak dána hloubkovým rozsahem zatopených důlních děl, geotermickým stupněm v dané lokalitě a případným prouděním (míšením) vod v zatopeném dole. Provedená měření na některých lokalitách dokládají zřetelnou hloubkovou teplotní stratifikaci důlních vod, jak je vidět na obr. 8 (Michálek a kol. 2007)



Obr. č. 8 Teplota důlních vod v zatopeném uranovém dole Příbram, autor Michálek a kol. (2007)

5. Výsledky monitorování složení důlních vod a změny hladin z vybraných důlních polí

V této kapitole jsou uvedeny a vyhodnoceny výsledky monitoringu složení důlních vod a změny hladin z vybraných důlních polí, kterými jsou šachta č. 19 a šachta č. 11A. Účelně byly vybrány tyto dvě šachty, jelikož v současné době dochází k monitoringu důlních vod v lokalitě Příbram pouze na těchto dvou důlních polích. Výsledky, které budou dále uvedeny v podkapitolách, mi byly poskytnuty firmou Diamo s. p., o. z. SUL Příbram a já osobně jsem žádné terénní měření neprováděl.

Monitoring důlních vod, je prováděn také u odkališť, kde je kontrolována průchodnost obtokových příkopů, jednou za měsíc jsou odebírány vzorky vody, ke stanovení obsahu uranu, radia a rozpuštěných látek. Dále se provádí měření výšky hladiny v kontrolních vrtech po obvodu hráze (*Hutr 2005*).

5.1 Výsledky monitoringu složení důlních vod

5.1.1 Výsledky z šachty č. 19

V tabulce č. 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů při vstupu do dekontaminační stanice Příbram II. Z hodnot je patrné, že dochází k postupnému snižování hlavních sledovaných kontaminantů, kterými jsou uran a radium.

Dekontaminační stanice šachta č. 19 - VSTUP						
Ukazatel jednotky	Průměrné hodnoty za jednotlivé roky					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
U_{nat.} (mg.l ⁻¹)	8,464	8,300	7,286	7,430	7,070	6,130
²²⁶Ra (mBq.l ⁻¹)	1087	1297	1104	1276	1213	1079
RL (mg.l ⁻¹)	3792	3759	3699	3625	3532	3419
NL (mg.l ⁻¹)	35,0	35,4	29,9	76,6	75,0	45,0
Cl⁻ (mg.l ⁻¹)	116,6	117,1	128,0	171,0	174,0	174,0
Fe (mg.l ⁻¹)	11,68	12,89	12,08	14,18	16,18	10,88
SO₄²⁻ (mg.l ⁻¹)	2152,5	2103,1	2013,0	1905,0	1913,0	1819,0
As (mg.l ⁻¹)	0,2121	0,2942	0,2971	0,2369	0,2309	0,2522
Cu (mg.l ⁻¹)	0,0774	0,0925	0,0892	0,1	0,1	-
Zn (mg.l ⁻¹)	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	-
Mn (mg.l ⁻¹)	4,34	4,83	4,50	4,71	4,45	-
Cr (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
pH (-)	7,59	7,51	7,47	7,48	7,45	-
Q (l.s ⁻¹)	32,47	78,9	-	-	-	-
Teplota (°C)	-	-	-	21,8	-	-

Tab. č. 2 Průměrné hodnoty ze šachty č. 19 na vstupu do čistírny důlních vod (*Diamo s.p.*)

V tabulce č. 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů při výstupu z čistírny důlních vod II. Dále je v této tabulce uveden i povolený obsah všech vypouštěných látek, které jsou sledovány.

Obsah látek ve vypouštěné důlní vodě, z čistírny důlních vod, do veřejné vodoteče, podmínky a způsob tohoto vypouštění, jsou vždy stanoveny příslušnými platnými vodoprávními rozhodnutími Krajského úřadu Středočeského kraje a dále rozhodnutím Státního ústavu pro jadernou bezpečnost.

Hodnoty stanovené pro možné vypouštění do veřejné vodoteče se od roku 2005 postupně zpříšňovaly, kdy v roce 2005 byla hodnota výchozí úrovně u uranu stanovena na 0,75 mg.l⁻¹ a pro rok 2010 již byla hodnota snížena na 0,3 mg.l⁻¹. U radia byla hodnota výchozí úrovně v roce 2005 stanovena na 350 mBq.l⁻¹, pro rok 2010 již tato hodnota byla 200 mBq.l⁻¹.

Dekontaminační stanice šachta č. 19 - VÝSTUP						
Ukazatel Jednotky, hodnoty	Průměrné hodnoty za jednotlivé roky					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
U_{nat.} (mg.l ⁻¹) VÚ 0,3 ZÚ 0,5	0,324	0,474	0,312	0,165	0,139	0,112
²²⁶Ra (mBq.l ⁻¹) VÚ 200 ZÚ 300	63	153	67	63	51	53
RL (mg.l ⁻¹) „p“ 5000 „m“ 6000	3669	3973	3982	3719	3507	3378
NL (mg.l ⁻¹) „p“ 30 „m“ 40	11	23,5	12,9	10,4	4,3	4,0
Cl⁻ (mg.l ⁻¹) „p“ 800 „m“ 900	218,1	283,3	393	286	253	261
Fe (mg.l ⁻¹) „p“ 2 „m“ 3	0,34	1,907	0,572	0,218	0,153	0,109
SO₄²⁻ (mg.l ⁻¹) „p“ 3000 „m“ 4000	1997,4	1947,7	1959	1867	1910	1812
As (mg.l ⁻¹) „p“ 0,1 „m“ 0,2	0,022	0,0427	0,0307	0,0325	0,0220	0,0277
Cu (mg.l ⁻¹) „p“ 0,2 „m“ 0,4	0,073	0,087	0,091	0,096	-	0,1
Zn (mg.l ⁻¹) „p“ 0,5 „m“ 1,0	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05
Mn (mg.l ⁻¹) -	-	2,69	1,404	0,531	-	-
Cr (mg.l ⁻¹) -	-	-	-	-	-	0,002
pH (-) 6-9	7,92	7,80	7,93	7,80	7,90	7,90
Q (l.s ⁻¹) max. 100 Ø 80	32,47	77,6	51	64,3	65,5	-
Teplota (°C) Ø 21,5	-	21,5	21,3	21,4	21,5	21

Tab. č. 3 Průměrné hodnoty ze šachty č. 19 na výstupu z čistírny důlních vod (*Diamos.p.*)

V roce 2005 došlo 1x k překročení povolené hodnoty u uranu. Ostatní sledované ukazatele nebyly překročeny. V roce 2006 došlo k překročení povolených hodnot 15x u uranu, 3x u radia a 11x u nerozpuštěných látek. V roce 2007 již došlo k překročení povolených hodnot u uranu pouze 3x, u radia 1x a u nerozpuštěných látek 2x. V roce 2008 to bylo pouze 1x překročení u uranu a 2x u nerozpuštěných látek. V roce 2009 a 2010 již nebyla překročena žádná stanovená limitní hodnota.

S teplotou vypouštěné důlní vody do veřejné vodoteče, byl problém za každé roky a stanovené hodnoty zde byly vícekrát překračovány.

5.1.2 Výsledky z šachty č. 11A

V tabulce č. 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů při vstupu do dekontaminační stanice Příbram I. Z těchto hodnot, konkrétně u uranu, je zřejmé, že zde není znatelný pokles tohoto kontaminantu, jako u šachty č. 19, ale naopak, že obsah uranu v důlní vodě postupně každým rokem stoupal.

Dekontaminační stanice šachta č. 11A - VSTUP						
Ukazatel jednotky	Průměrné hodnoty za jednotlivé roky					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
U_{nat.} (mg.l ⁻¹)	2,314	3,325	4,552	7,47	8,68	7,61
²²⁶Ra (mBq.l ⁻¹)	202	227	141	206	179	154
RL (mg.l ⁻¹)	2076	2112	3088	3324	3297	2450
NL (mg.l ⁻¹)	31,3	15,9	19,14	10	5,5	8,6
Cl⁻ (mg.l ⁻¹)	-	-	235	300	355	225
Fe (mg.l ⁻¹)	-	-	0,202	0,312	0,195	0,707
SO₄²⁻ (mg.l ⁻¹)	-	-	1570	1732	1766	1470
As (mg.l ⁻¹)	-	-	-	0,0419	0,0189	-
Cu (mg.l ⁻¹)	-	-	-	0,1	0,1	-
Zn (mg.l ⁻¹)	-	-	-	0,05	0,059	-
Mn (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
Cr (mg.l ⁻¹)	-	-	-	-	-	-
pH (-)	10,7	8,99	8,91	8,03	8,0	8,0
Q (l.s ⁻¹)	16,73	6,893	17,95	20,92	22,14	25,8
Teplota (°C)	-	-	-	-	-	-

Tab. č. 4 Průměrné hodnoty ze šachty č. 11A na vstupu do čistírny důlních vod (*Diamo s.p.*)

V tabulce č. 5 jsou opět uvedeny průměrné hodnoty sledovaných ukazatelů při výstupu z čistírny důlních vod I a zároveň i povolený obsah všech vypouštěných látek.

Obsah látek ve vypouštěné důlní vodě, z čistírny důlních vod I, do veřejné vodoteče, podmínky a způsob tohoto vypouštění, jsou opět stejně jako u šachty č. 19, stanoveny příslušnými platnými vodoprávními rozhodnutími Krajského úřadu Středočeského kraje a dále rozhodnutím Státního ústavu pro jadernou bezpečnost.

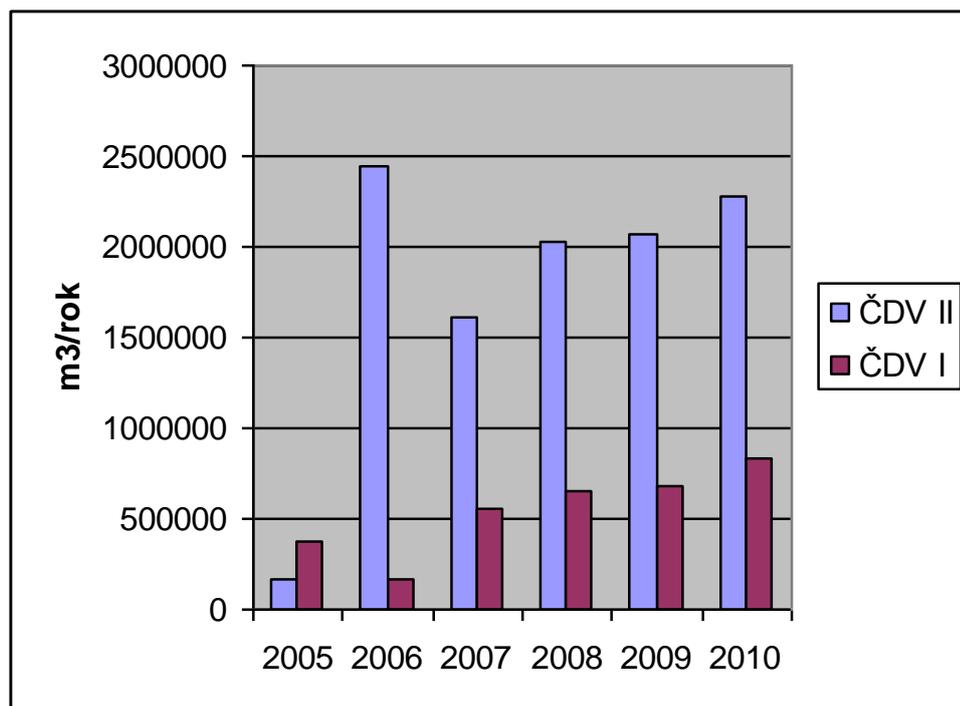
Hodnoty stanovené pro možné vypouštění do veřejné vodoteče byly u uranu od roku 2005 až do roku 2010 stále stejné a to 0,4 mg.l⁻¹. U radia došlo k postupnému zpřísnění z hodnoty 350 mBq.l⁻¹ v roce 2005 na hodnotu 200 mBq.l⁻¹ v roce 2010.

Dekontaminační stanice šachta č. 11A - VÝSTUP							
Ukazatel Jednotky, hodnoty	Průměrné hodnoty za jednotlivé roky						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
U_{nat.} (mg.l ⁻¹) VÚ 0,4 ZÚ 0,5	0,167	0,181	0,166	0,259	0,264	0,279	
²²⁶Ra (mBq.l ⁻¹) VÚ 150 ZÚ 200	70	72	43	33	42	43	
RL (mg.l ⁻¹) „p“ 5000 „m“ 6000	2016	1949	3021	3249	2733	2791	
NL (mg.l ⁻¹) „p“ 30 „m“ 40	5,5	9,9	10,4	10	4,1	4,0	
Cl⁻ (mg.l ⁻¹) „p“ 800 „m“ 900	208,2	321,4	281	336	351	320	
Fe (mg.l ⁻¹) „p“ 5 „m“ 6	0,060	0,270	0,222	0,202	0,164	0,100	
SO₄²⁻ (mg.l ⁻¹) „p“ 3000 „m“ 4000	1539,2	1289,0	1632,0	1565,0	1619,0	1576,0	
As (mg.l ⁻¹) „p“ 0,1 „m“ 0,2	0,0076	0,0145	0,0142	0,0223	-	0,0093	
Cu (mg.l ⁻¹) „p“ 0,2 „m“ 0,4	0,028	0,100	0,0883	0,0960	0,0980	0,0980	
Zn (mg.l ⁻¹) „p“ 0,5 „m“ 1,0	<0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	
Mn (mg.l ⁻¹) -	-	0,05	-	-	-	-	
pH (-) 6-9	7,89	7,84	7,58	7,53	8,00	7,90	
Q (l.s ⁻¹) max. 40 Ø 30	12	5,3	17,641	20,6	21,5	26,49	
Teplota (°C) Ø 21,5	-	-	-	-	-	-	

Tab. č. 5 Průměrné hodnoty ze šachty č. 11A na výstupu z čistírny důlních vod (*Diamo s.p.*)

V roce 2005, 2006 a 2007 došlo pouze 3x k překročení povolené hodnoty u uranu. Ostatní sledované ukazatele nebyly překročeny, až na rok 2007, kde došlo 1x k překročení povolené hodnoty u arsenu a 3x u sledování kyselosti. V roce 2008 již byla hodnota u uranu překročena 4x. V roce 2009 a 2010 již pouze opět 3x. S teplotou vypouštěné důlní vody do veřejné vodoteče, byl problém i u této šachty a opět zde stanovené hodnoty byly vícekrát překračovány.

Na obrázku č. 9 je znázorněno množství odčerpané a vyčištěné důlní vody na čistírnách důlních vod I a II. Z obrázku je patrné, že v roce 2006 byla téměř dosažena bilanční hodnota pro čistírnu důlních vod II na šachtě č. 19, které byla pro tento daný rok stanovena na hodnotu 2 523 000 m³.rok⁻¹.



Obr. č. 9 Množství odčerpané a vyčištěné důlní vody (*Diamo s.p.*)

5.2 Výsledky monitoringu hladin důlních vod

Data o hladinách důlních vod uvedených níže, jsou ze šachty č. 19 a to od počátku měření na této jámě. Před samotným zatopením ložiska se hladina důlních vod příliš nesledovala. V průběhu dobývacích prací se voda odčerpávala, tak, aby nenarušovala práci v podzemí. Mluvit tedy v této době o hladině důlní vody je bezpředmětné. Po rozhodnutí, že dojde k zatopení ložiska, se důlní voda nechala volně nastoupat a měřit se začalo až relativně pozdě, protože voda byla stovky metrů pod povrchem. Měření pak probíhala jedenkrát za čtvrtletí a to pouze proto, aby bylo možno přibližně stanovit dobu, kdy dojde k zatopení ložiska. Hladina důlních vod jako taková, se na šachtě č. 11A nesleduje, toto je za celé ložisko Příbram, prováděno pouze na šachtě č. 19. Před rokem 2005, nežli došlo k zatopení ložiska, probíhala na šachtě č. 11A také pouze čtvrtletní orientační měření. Na jámě č. 11A, respektive na čistírně důlních vod I, umístěné u jámy č. 11A, se sleduje pouze obsah jednotlivých kontaminantů v důlní vodě.

V tabulce č. 6 jsou vybrané údaje o hladině důlní vody v průběhu zatápění ložiska Příbram.

Datum měření	Hladina od ohlubně šachty v metrech	Nadmořská výška hladiny v metrech nad mořem
20. 01. 2003	416,8	105,4
19. 01. 2004	313,35	208,85
04. 01. 2005	204,5	317,70
10. 10. 2005	105,46	416,74

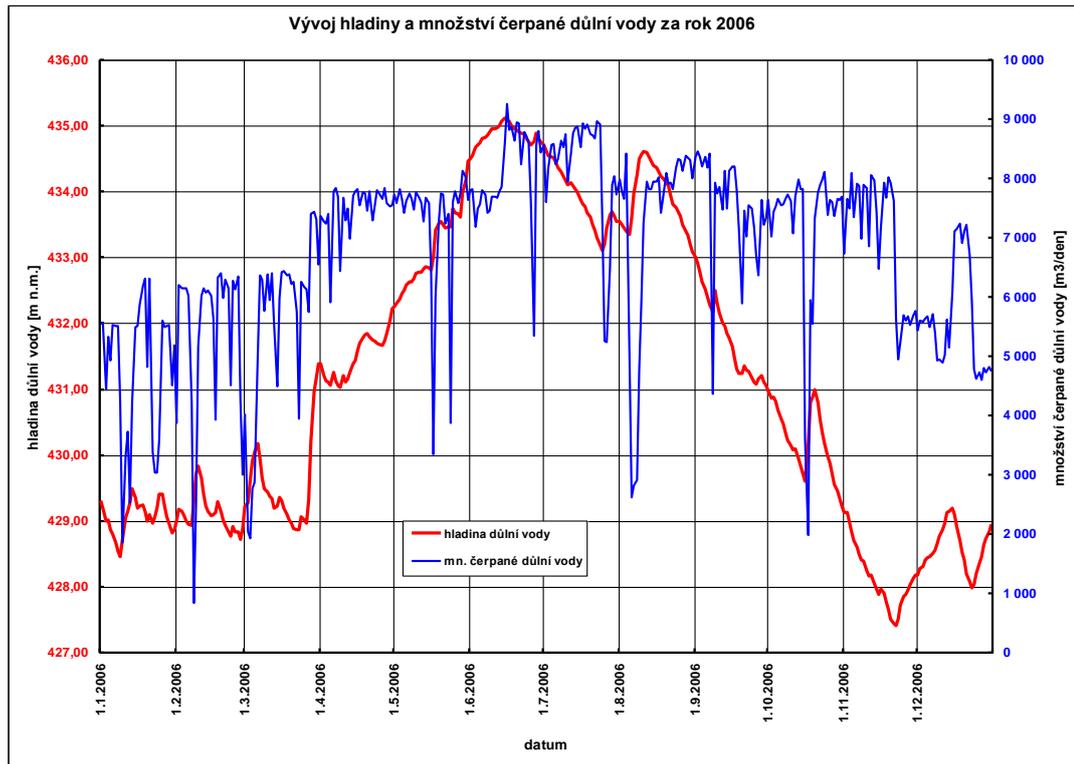
Tab. č. 6 Hladina důlní vody v průběhu zatápění ložiska (*Diamo s.p.*)

V současné době se hladina důlní vody odečítá na šachtě č. 19 a to denně, pomocí ponorné sondy na měření výšky hladin. V tabulce č. 7 jsou dále uvedeny minimální, maximální a průměrné roční hodnoty hladiny důlní vody. Údaje jsou uvedeny v metrech nad mořem.

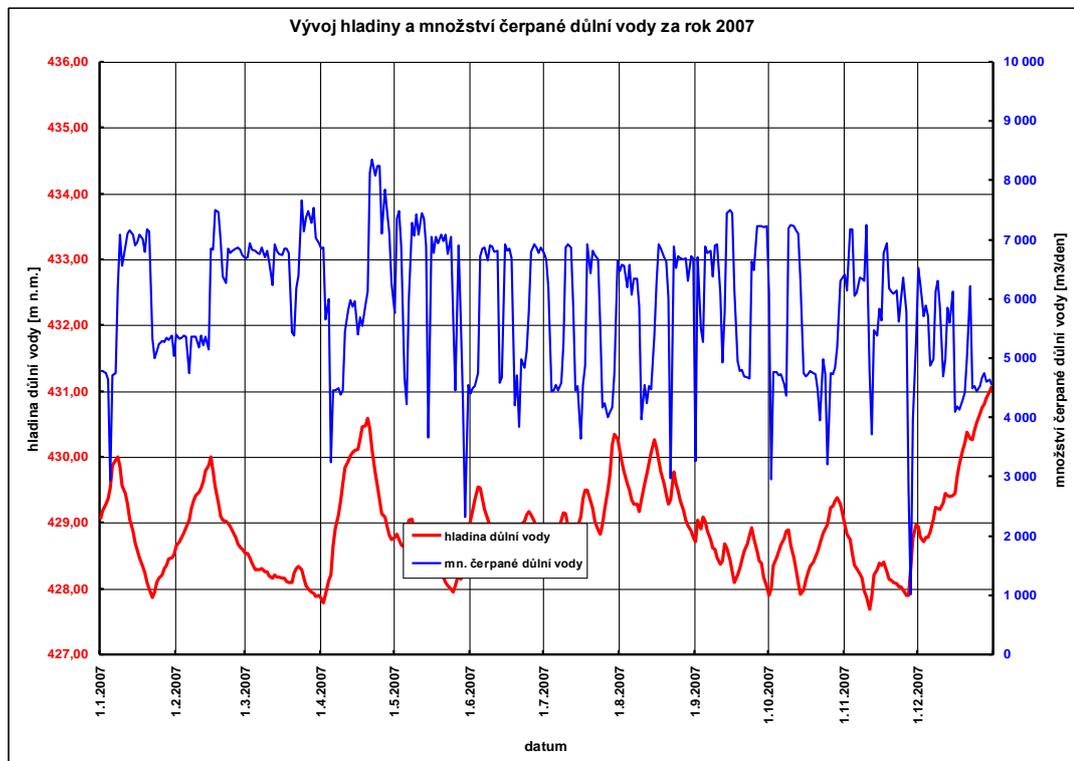
rok	min	max	roční průměr
2006	427,41	435,11	431,15
2007	427,68	431,15	428,90
2008	428,55	433,80	431,30
2009	428,26	433,86	430,98
2010	428,12	435,38	431,85

Tab. č. 7 Vývoj hladiny důlní vody (*Diamo s.p.*)

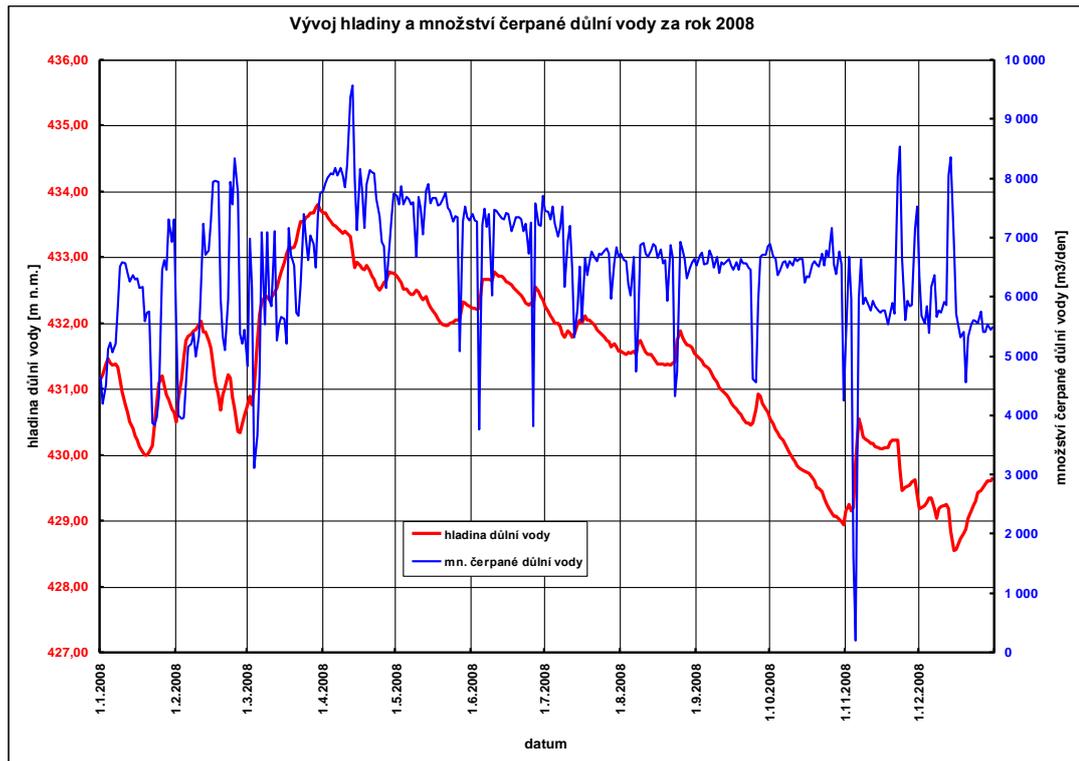
Na obrázcích č. 10 až 14 je uveden vývoj hladin a množství čerpané důlní vody za roky 2006 až 2010.



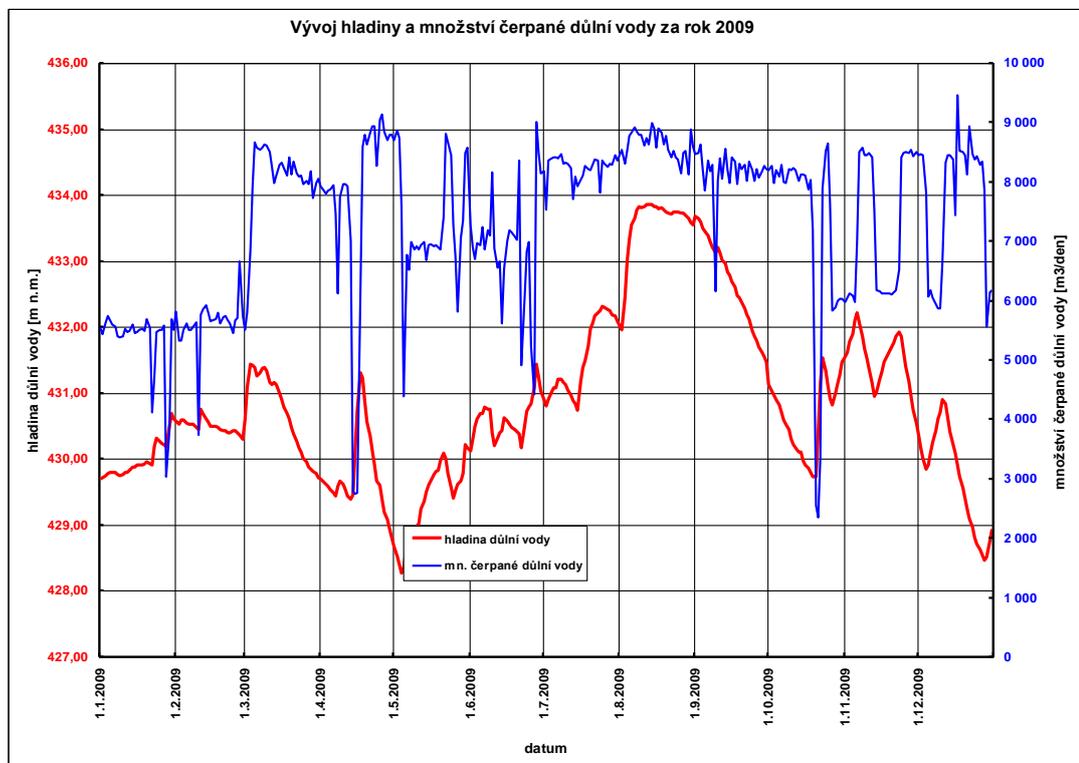
Obr. č. 10 Vývoj hladiny a množství čerpané důlní vody za rok 2006 (Diamo s.p.)



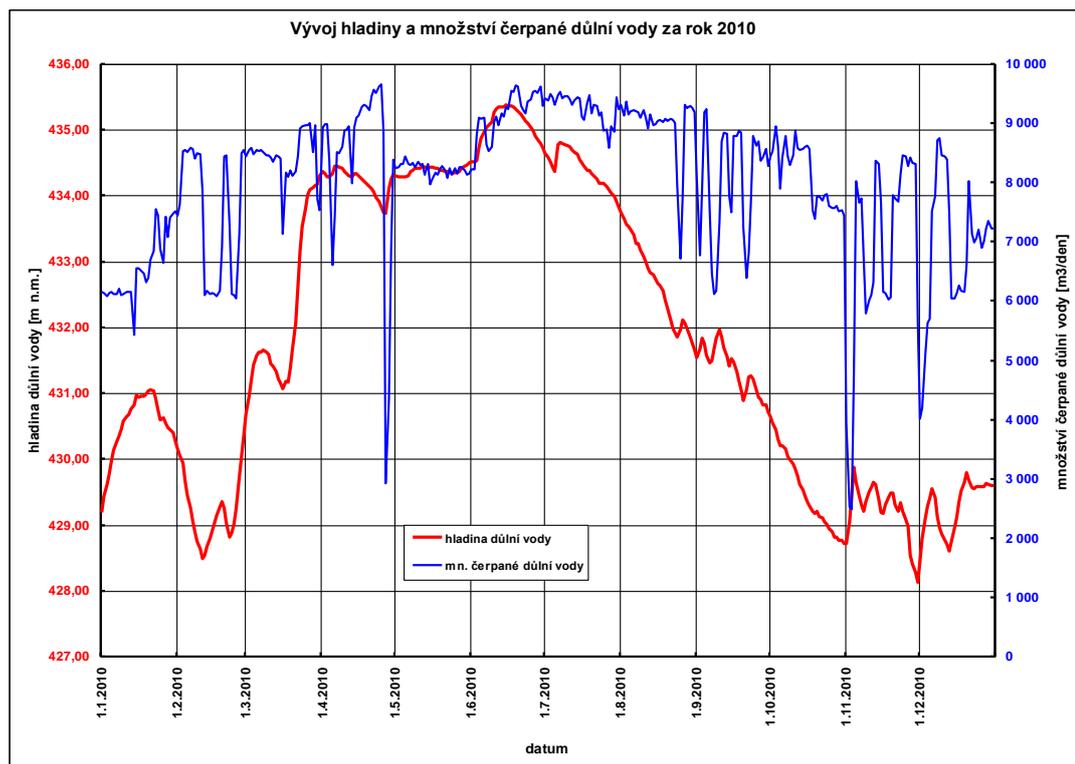
Obr. č. 11 Vývoj hladiny a množství čerpané důlní vody za rok 2007 (Diamo s.p.)



Obr. č. 12 Vývoj hladiny a množství čerpané důlní vody za rok 2008 (Diamo s.p.)



Obr. č. 13 Vývoj hladiny a množství čerpané důlní vody za rok 2009 (Diamo s.p.)



Obr. č. 14 Vývoj hladiny a množství čerpané důlní vody za rok 2010 (*Diamo s.p.*)

V příloze č. 1 je pak provedeno porovnání hladin důlních vod za roky 2006 až 2010. Je zde vidět patrné kolísání hladiny důlní vody, které je způsobeno směrem vzhůru a to převážně v jarních, případně začátkem letních měsíců. Kolísání hladiny je způsobeno táním sněhu a následným průsakem povrchových vod do ložiska. Na obrázku v příloze č. 2 je vyobrazeno navíc i množství čerpané důlní vody za roky 2006 až 2010.

5.3 Zhodnocení přínosů a nedostatků stávajícího monitorovacího systému

5.3.1 Přínosy

Hlavním přínosem monitorovacího systému důlních vod na lokalitě Příbram je, že nemůže dojít k samovolnému vytékání důlních vod na povrch terénu a kontaminaci povrchových vodotečí, kontaminanty obsaženými v důlní vodě.

5.3.2 Nedostatky

Nedostatky stávajícího monitorovacího systému na lokalitě Příbram nebyly žádné shledány. Kontinuální způsob monitoringu hladin na principu hydrostatického tlaku funguje naprosto spolehlivě. Hladina je pomocí sondy na měření výšky hladin odečítána denně a následně odesílána na řídicí panel čistírny důlních vod.

Problém byl však shledán se samotným množstvím důlní vody a kapacitními prostředky na její čištění. V roce 2006 byla téměř dosažena stanovená bilanční hodnota pro čistírnu důlních vod II. Vzhledem k množství důlní vody, tak musí obě čistící stanice jet na plný výkon, bez jakéhokoliv přerušení. Může se stát, že v případě nutnosti čistit velké množství důlní vody, nebude provedena dostatečná regenerace čistících médií. Poté bude docházet k nekvalitnímu vyčištění důlní vody a překračování stanovených limitů pro vypouštění do veřejné vodoteče.

Dále zde byl zjištěn problém s odkališti, kdy při povodňovém stavu došlo k naplnění odkaliště a část nečištěných důlních vod, byť silně zředěných povodní, se dostalo do řeky Kocáby. V dnešní době však již byl tento problém vyřešen a v případě naplnění odkaliště, jsou odkalištní vody zapuštěny vrty do podzemí, odkud jsou poté následně znovu čerpány a čištěny na čistírnu důlních vod.

Rovněž bylo z výsledků zjištěno, že v průběhu vydatných dešťů nebo tání sněhu dochází k průsaku dešťových vod do podzemí a tím k navýšení hladiny důlní vody, kterou je poté nutno čistit.

5.4 Návrh na zkvalitnění stávajícího monitorovacího systému

Samotný monitorovací systém, jako celek, funguje naprosto spolehlivě. Pro jeho případné zkvalitnění by bylo dobrým řešením vybudovat novou čistírnu důlních vod na šachtě č. 11A, která by se kapacitně blížila čistírnu důlních vod II na šachtě č. 19, případně i s větší kapacitou. Toto by však bylo velice nákladné řešení a nakonec by nebylo jisté, zda by se kapacita této čistící stanice, nevyužita pouze občasně, např. při povodních.

Ideálním východiskem na zkvalitnění stávajícího monitorovacího systému důlních vod na lokalitě Příbram, případně i na jiných lokalitách, by bylo provádět společně s monitoringem důlních vod i monitoring průsakových vod. Pravidelně sledovat

srážky, zmapovat průsakovou vodu a prameny vytvořené touto průsakovou vodou, odvádět mimo ložisko. Tímto způsobem by nedošlo k míšení průsakových vod s vodami důlními a průsakové vody by tak byly odváděny bez nutnosti jejich následného čištění, např. do veřejné vodoteče. Samotný objem důlních vod by poté razantně klesl a výrazně by klesly i náklady vynaložené do čistíren důlních vod.

Rovněž by bylo vhodné doplnit celý monitorovací systém na lokalitě Příbram, výměňkovou stanicí, kdy by byla využívána tepelná energie důlních vod pro tepelná čerpadla, jak uvádí *Michálek a kol. (2007)*. Tento návrh by si však opět vyžádal další technická řešení a s tím spojené nemalé finanční prostředky.

6. Diskuse

Položme si otázku důležitosti monitoringu hladin a složení důlních vod na lokalitě Příbram. Můj názor je, že pokud by tento monitoring nebyl prováděn, došlo by k nekontrolovanému výronu důlních vod na povrch terénu a ke kontaminaci povrchových vodotečí. Řešení monitoringu důlních vod na lokalitě Příbram má tak svůj velký opodstatněný význam.

U kontaminantů z šachty č. 11A lze sledovat změny parametrů, avšak opačným způsobem. Místo toho, aby se hodnoty sledovaných kontaminantů s časovým odstupem snižovaly, tak naopak dochází k jejich zvyšování. Toto je však způsobeno tím, že důlní vody z šachty č. 11A jsou ředěny vodami z odkališť a následně čištěny. Na šachtě č. 11A, tak nejsou patrné příliš velké změny parametrů jednotlivých kontaminantů. Jejich obsah při vstupu do čistírny důlních vod, závisí na množství naředění vodami z odkališť.

Možná bych důlní vody ze šachty č. 11A nemísil s odkališťními vodami, aby pak bylo lépe vidět, zda i na šachtě č. 11A dochází k postupnému ustálení kontaminantů v důlní vodě s odstupem času a k jejich snižování, ještě před samotným čištěním. Technicky by to byla ale složitější a vody z odkaliště by se musely čistit samostatně. Na druhou stranu je ale ukázkovým příkladem šachta č. 19. Zde je přesně patrné, že s postupujícími roky, kdy dochází k čerpání důlních vod z ložiska a následnému čištění, se zmenšuje obsah jednotlivých kontaminantů v důlní vodě, ještě před započítáním jejího čištění. Obsah uranu byl v roce 2005 $8,464 \text{ mg.l}^{-1}$ a v roce 2010 byla jeho hodnota již pouze $6,130 \text{ mg.l}^{-1}$, to je snížení o téměř $2,3 \text{ mg.l}^{-1}$ za 6 let. Pokud by tento trend postupoval stále stejným směrem, dalo by se předpokládat, že za cca 15 let by mohl být obsah uranu na hranici vypouštění důlních vod do veřejné vodoteče, bez nutnosti jejich čištění.

Důlní vody na lokalitě Příbram však obsahují i množství arsenu, které není přípustné pro vypouštění do veřejné vodoteče, bez provedení vyčištění. Tato hodnota, jak je vidět v tab. č. 3, je za jednotlivé roky téměř neměnná.

Samotné vypouštění důlních vod, bez nutnosti jejich čištění, po uplynutí doby cca 15 let, je tak pouze teoretické a bude záležet i na dalším vývoji ostatní kontaminantů v důlní vodě.

Problém byl však shledán, s příliš velkým množstvím důlní vody. Z mého pohledu by tak bylo vhodné monitorovací systém důlních vod doplnit o monitoring průsakových vod. Pravidelně sledovat srážky, zmapovat průsakové vody a prameny vytvořené touto průsakovou vodou, odvádět mimo ložisko. Tímto způsobem by nedošlo k míšení průsakových vod, s vodami důlními a průsakové vody by tak byly odváděny bez nutnosti jejich následného čištění, např. do veřejné vodoteče. Samotný objem důlních vod by poté razantně klesl a výrazně by klesly i náklady vynaložené do čištění důlních vod.

Rovněž si i dále můžeme položit otázku, co s příliš vysokou teplotou důlní vody? S odpovědí na tuto otázku bych se plně ztotožnil s návrhem *Michálka a kol. (2007)*, z problému bych udělal přednost a využil tepelnou energii důlních vod, jako zdroj energie pro tepelná čerpadla. Jednalo by se sice o technicky složitý problém, ale využitelnost by mohl mít.

7. Závěr

V bakalářské práci jsem schematizoval a typizoval způsoby monitorování podzemních vod v těžebních oblastech vyznačujících se vysokou zakleslostí hladin a současně i výronů důlních vod na povrch terénu.

Z výsledků na šachtě č. 19 je přesně patrné, že s postupujícími roky, kdy dochází k čerpání důlních vod z ložiska a následnému čištění, se zmenšuje obsah jednotlivých kontaminantů v důlní vodě, ještě před započítáním jejího čištění. Podařilo se tak prokázat, že po ukončení těžby a zatopení dolu, skutečně dochází k ustálení a poklesu hlavních kontaminantů v důlní vodě. Pokud by tento trend postupoval stále stejným směrem, dalo by se předpokládat, že za cca 15 let by mohl být obsah uranu na hranici vypouštění důlních vod do veřejné vodoteče, bez nutnosti jejich čištění a mohlo by se tak upustit od pravidelného monitorování důlních vod.

Důlní vody na lokalitě Příbram však obsahují i značné množství arsenu, které není přípustné pro vypouštění do vodoteče, bez provedení vyčištění. Tato hodnota je však za jednotlivé roky téměř neměnná. Samotné vypouštění důlních vod, bez nutnosti jejich čištění, po uplynutí doby cca 15 let, je tak pouze teoretické a záleželo by i na dalším vývoji ostatních kontaminantů v důlní vodě.

Dále bylo při zpracování výsledků zjištěno, že ke kolísání hladiny důlní vody směrem vzhůru, dochází převážně v jarních, případně začátkem letních měsíců. Kolísání hladiny je ponejvíce způsobeno táním sněhu a následným průsakem povrchových vod do ložiska.

Při zpracování samotné bakalářské práce a při shromažďování a vyhodnocování podkladů jsem dále dospěl k závěru, že monitorovací systém důlních vod na lokalitě Příbram funguje dobře a není nutno jej výrazně měnit. Kontinuální způsob měření hladin na principu hydrostatického tlaku funguje naprosto spolehlivě a není zde ani moc jiných možností na výběr. Hladina je pomocí sondy na měření výšky hladin odečítána denně a následně odesílána na řídicí panel čistírny důlních vod.

Monitorovací systém bych tedy pouze doplnil o monitoring průsakových vod, pravidelné sledování srážek, zmapování průsakových vod a prameny vytvořené touto průsakovou vodou, odvádět mimo ložisko. Tímto způsobem by nedošlo k míšení průsakových vod, s vodami důlními a průsakové vody by tak byly odváděny bez

nutnosti jejich následného čištění, např. do veřejné vodoteče. Samotný objem důlních vod by poté razantně klesl a výrazně by klesly i náklady vynaložené do čistíren důlních vod.

Dále bych doplnil monitorovací systém o výměňkovou stanici, kde by byla využívána tepelná energie důlních vod pro tepelná čerpadla.

K výronu důlních vod na povrch terénu dochází na lokalitě Příbram šufrem č. 55. Zde jsou pravidelně odebírány kontrolní vzorky. Výron je však tak zanedbatelný, že v odebraných vzorcích je velké množství kalů a bahna a není možno tak stanovit obsah jednotlivých kontaminantů. Pro monitoring důlních vod nemá tento výron žádný zásadní význam. V minulosti došlo při povodňovém stavu k naplnění odkaliště a část nečištěných, ale povodní silně zředěných vod, se dostalo do řeky Kocáby. Tato situace již ale v současné době nemůže nastat, jelikož byla přijata opatření na odkališti Bytíz, včetně možnosti přepustit tyto vody do podzemí. Vzhledem k těmto skutečnostem se provádí i monitoring složení povrchových vod, které by mohly být kontaminované důlními vodami, při jejich případném výronu na povrch terénu.

Závěrem bych chtěl tedy uvést, že bez monitorování hladin důlních vod, by na lokalitě Příbram, docházelo k nekontrolovanému výronu důlních vod na povrch terénu a následné kontaminaci povrchových vodotečí. Zda dojde po uplynutí 15 let ke zrušení monitoringu důlních vod na lokalitě Příbram, nám ukáže až další vývoj jednotlivých kontaminantů. Do té doby bude určitě nutné důlní vodu na lokalitě Příbram, nepřetržitě monitorovat.

8. Seznam literatury

Tištěné publikace

- Arapov Ju. A., 1984: Československá ložiska uranu. SNTL, Praha.
- Bzowski Z., Dawidowski A., 2002: Evaluating the Impact of Mine Groundwater on the Environmen. International Journal of Mining, Reclamation and Environment 16/2 : 97-104.
- Diamo s. p., 2004: Technický projekt likvidace a sociální program
- Diamo s. p., 2005: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2005.
- Diamo s. p., 2006: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2006.
- Diamo s. p., 2007: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2007.
- Diamo s. p., 2008: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2008.
- Diamo s. p., 2009: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2009.
- Diamo s. p., 2010: Zpráva o výsledcích monitoringu a stavu složek životního prostředí o. z. SUL za rok 2010.
- Diehl P., 1995: Environmental Impact of Uranium Mining in the Black Triangle Region. University of Cambridge.
- Grmela A., Lusk K., Halíř J., 2009: Důlní hydrogeologie – dopady likvidace dolů na povrchové a podzemní vody.
- Grünwald A., 1997: Hydrochemie. Nakladatelství ČVUT, Praha, 176 s.
- Hájek A. a Lusk. A., 2003: Analýza zaplavování uranových dolů v České republice, Diamo s. p..
- Homola V. a Klír S., 1975: Hydrogeologie ČSSR III. Academia, nakladatelství Československé akademie věd Praha, 426 s.
- Hutr K., 2005: Ložisko uranových rud zatápí voda obsahující nebezpečný uran a radium. Příbramský deník 189/14: 3.
- Kadlec K., Fišer L., 2008: Měřicí a řídicí technika pro 2. A 3. Ročník bakalářského studia FCHI.
- Kafka J., 2003: Rudné a uranové hornictví České republiky. Nakladatelství Anegram s.r.o., Ostrava, 647 s.
- Kalous J. a Zeman J., 2004: Výsledky zonálního monitoringu na lokalitě Příbram – jáma 19 (závěrečná zpráva), Diamo s. p..

- Kříž H., 1983: Hydrologie podzemních vod. Academia, nakladatelství Československé akademie věd Praha, 292 s.
- Kuba J., Burian L., Dvořák J., Ječmínek J., Knížek F., Smíšek R., Staněk V., Štych K., Litochleb J., 2009: Šachta č. 19 Příbramského uranového ložiska. Knihovna Jana Drdy Příbram, 70 s.
- Kukutsch R., Lednická M., Kořínek R., Žůrek P., 2006: Důlní vody v historickém dole Jeroným v Čisté.
- Lepka F., 2003: Český uran 1933-2002, nakladatelství Květa Vinklátová Liberec, 104 s.
- Lusk K., 2008a: Charakteristika důlních vod v ložisku U rud Příbram během jeho zatápění. Diamo s. p., Stráž pod Ralskem.
- Luks K., 2008b: Důlní vody zatopeného uranového ložiska Příbram, Diamo s. p., Stráž pod Ralskem.
- Michálek B., Holéczy D., Jelínek P., Grmela A., 2007: Využití tepelné energie důlních vod zatopených hlubinných dolů. Acta Montanistica Slovaca 12/mimořádné číslo 1: 92-98.
- Neužil M., 1998: Vliv těžby uranové rudy na životní prostředí, EIA Environmental Impact Assessment.
- Němcová K., 2009: Vliv těžby uranu na životní prostředí (příklad Dolní Rožínky), „nepublikováno“: „Dep: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta“.
- Řehoř V., Kramář L., Lusk K., 2006: Čištění důlních vod střední a východní části příbramského ložiska uranové rudy. Diamo, s. p., o. z. SUL Příbram, Diamo, s. p., Stráž pod Ralskem
- Šimůnek M., a Nováčková Z., 1980: Voda v báňském průmyslu Příbramska. Ústřední výbor ČVTS hornické – komitét symposia hornická Příbram ve vědě a technice, Praha, 27 s.
- Šráček O., Datel J., Mls J., 2000: Kontaminační hydrogeologie. Nakladatelství Karolinum Praha, 210 s.
- Whitworth K. R., 2002: The monitoring and modelling of mine water recovery in UK coalfields. In: Youger P. L., Robins N. S., Mine Water Hydrogeology and Geochemistry. Nakladatelství Geological Society, London, 408 s.
- Wolkersdorfen Ch., 2008: Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines. Nakladatelství Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 465 s.
- Zákon č. 44/1988 Sb., O ochraně a využití nerostného bohatství (Horní zákon) v platném znění.

- Zeman J. 2008: Koncepční model trendů vývoje důlních vod. In: Černík M., Geochemie a remediace důlních vod. Aquatest a.s., Praha, 252 s.

Internetové zdroje

- Bedřich M., 2006: Důlní vody zatopených hlubinných uranových dolů. Online: <http://proatom.luksoft.cz/view.php?cisloclanku=2006060601> – Vystaveno: 06.06.2006, Pro Atom Web. Zhlédnuto: 09.12.2010.
- BD Sensors s.r.o.,: Snímače výšky hladiny. Online: http://www.bdsensors.cz/products/level/cat_8 - Zhlédnuto: 10.02.2011.
- Šilhavý M., : Měření výšky hladin v průmyslu. Online: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33452 – Vystaveno 2010, Automa. Zhlédnuto: 14.03.2011.

Přílohy

Příloha č. 1 – hladina důlní vody v letech 2006 až 2011

Příloha č. 2 – hladina důlní vody v letech 2006 až 2011 včetně množství čerpané důlní vody

Příloha č. 1

