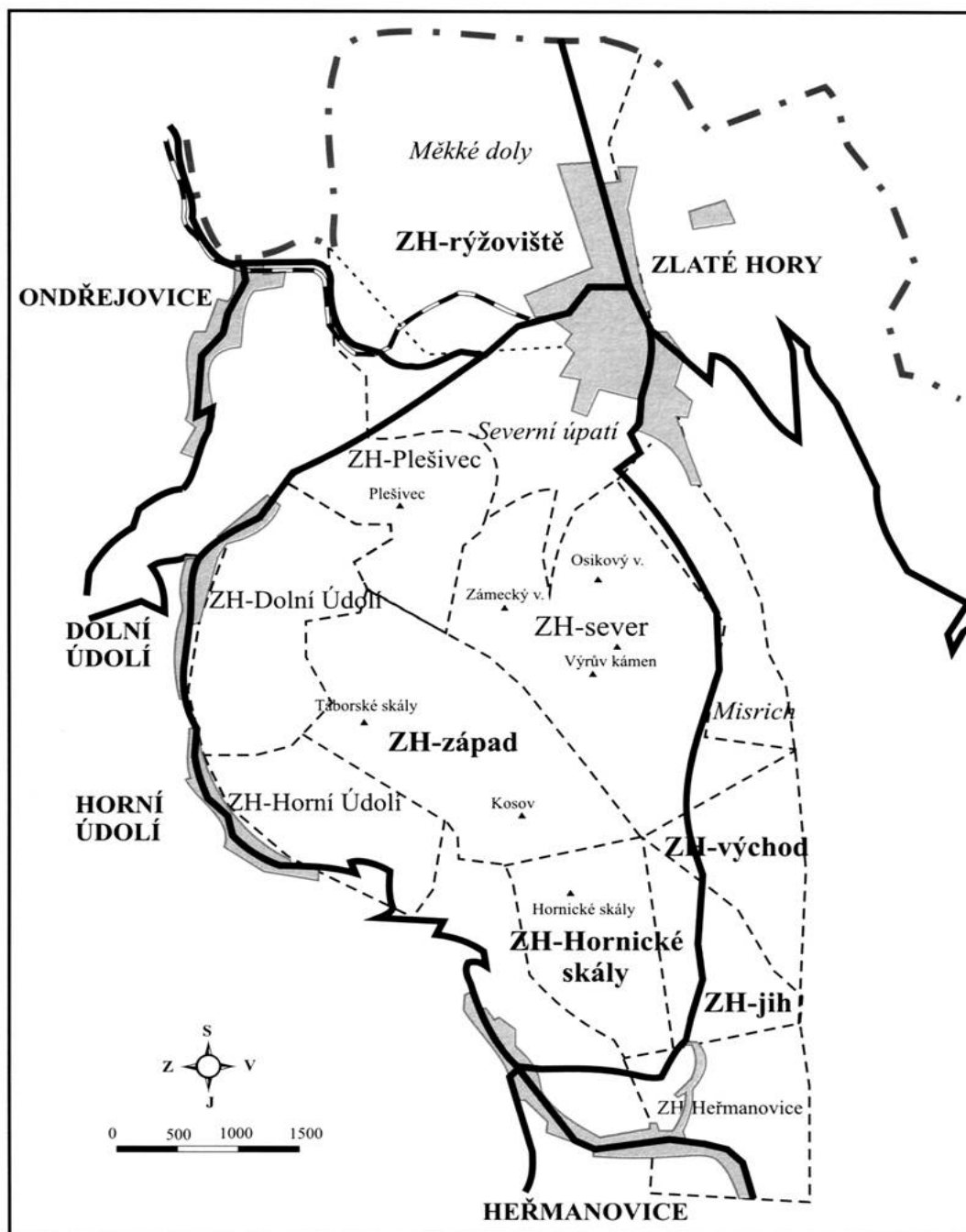


ČIŠTĚNÍ DŮLNÍCH VOD VE ZLATOHORSKÉM RUDNÍM REVÍRU

Zlatohorská ložisková struktura je součástí devonského vulkanosedimentárního komplexu epizonálně metamorfovaných hornin vrbenské série. Celý rudní revír má rozlohu okolo 25 km² a rozlišujeme v něm tyto ložiskové prostory: Zlaté Hory – jih (Cu), zkráceně ZHJ, Zlaté Hory – Hornické skály (Cu), zkráceně ZHHS, Zlaté Hory – východ (Cu,Zn,Pb,Ag), zkráceně ZHV a Zlaté Hory – západ (Cu,Zn,Pb,Au), zkráceně ZHZ.



Schematické znázornění průmětů jednotlivých ložisek revíru

Ložisko ZH-jih bylo ložiskem měděných rud, a to především chalkopyrit, pyrit a pyrhotin.

Exploatovalo se od roku 1965 až do června 1990.

Ložisko ZH-Hornické skály bylo rovněž ložiskem měděných rud, tvořily ho chalkopyrit, pyrit a chalkosín. Těžba začala v roce 1981 a končí také v polovině roku 1990.

Polymetalické ložisko ZH-východ se začalo těžit v roce 1988 a konec těžby byl v červnu 1992. Rudninu tvořil sfalerit, chalkopyrit, pyrit a galenit.

Ložisko zlata (ZH-západ) bylo těženo v závěru exploatace revíru od roku 1990 do konce roku 1993. Tvoří ho sfalerit, pyrit, chalkopyrit, volné zlato a méně galenit.

Těžba v revíru byla ukončena na konci roku 1993 na základě útlumového programu vlády ČR z roku 1990. Byl to (kromě uranu) poslední uzavíraný rudný důl v České republice.

Po dobu činnosti dolu byla důlní voda (do roku 1995) neutralizována již v podzemí a kal usazovaný v nádrži před odvodňovací štolou byl čerpán na odkaliště společně s flotačními písky z úpravy.

V průběhu likvidačních prací na dole (1990 – 1998) byly postupně budovány jednotlivé objekty budoucí čistírny důlních vod. Schéma ČDV je na straně 4.

Odvodňovací štola byla vyražena již v roce 1974 a do plného provozu uvedena v roce 1975.

Podélná usazovací nádrž při ústí odvodňovací štoly byla dána do provozu v dubnu 1984 a na konci roku i obě retenční nádrže (RN1 a RN2), klariflokulátor v červenci 1989, neutralizační stanice nad odvodňovací štolou a nádrž průsaků v srpnu 1995 a nádrž kalů na konci roku 1995. Úložiště kalů a filtrační stanice byly dány do provozu na konci roku 1997.

V roce 1998 byl důl zcela uzavřen, přestala se čerpat voda z 5. patra ložiska a voda postupně nastoupala až po úroveň odvodňovací štoly (3. patro) a začala volně gravitačně vytékat přes čistírnu důlních vod (ČDV) a dvě dosazovací retenční nádrže do veřejné vodoteče – Zlatý potok. Obsahy sledovaných látek v důlních vodách na výtoku z odvodňovací štoly jsou uvedeny v tabulce na str.3. Celý proces byl v roce 2005 až 2006 automatizován, byl zaveden systém MaR (měření a regulace) a činnost se stala plně automatická. Řízení je z velínu NS. Přechodem z ručního řízení do automatického přineslo úsporu ve spotřebě vápna a elektrické energie a vyloučily se možné havarijní situace. Tento stav na ČDV trvá dosud.

Vytékající vody jsou velmi kyselé a vznikají ze vsakující dešťové vody, která prochází puklinovým systémem, důlními díly a starými vrty do podzemí. Množství důlních vod kolísá v průběhu roku v závislosti na množství atmosférických srážek, které dosahují hodnot kolem 1 000 mm za rok. Z nich přibližně 20 % vsakuje a podílí se na tvorbě důlních vod. Dalším zdrojem jsou výtoky podzemních vod z poruchového a puklinového systému. Voda cestou rozpouští zbytkové zrudnění v ložiskovém prostředí a tím dochází k jejich nabohacení o kovy. Stávají se tedy silně mineralizované.

Celý proces probíhá podle jednoduchých rovnic. Pyrit (FeS_2) se ve vodě (H_2O) a za přítomnosti kyslíku (O_2) rozkládá na síran železnatý (FeSO_4) a slabou kyselinu sírovou (H_2SO_4).

$\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} + 7/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$. Podobně probíhá i rozklad dalších siřníků.

Např. chalkopyritu – $\text{CuFeS}_2 + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4$.

Při rozkladu pyritu dochází ke zvyšování acidity (kyselosti) okolního prostředí v důsledku vlastní oxidační reakce. Takže další oxidací síranu železnatého vzniká $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, tedy síran železitý. $2\text{FeSO}_4 + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Ten je nestálý ve vodním prostředí, a proto jeho hydrolýzou vzniká hydroxid železitý $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (známá červenohnědá sraženina tvořící základ limonitu) a znovu kyselina sírová.

$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$. Takže s postupným zvyšováním koncentrace Fe^{3+} (trojmocné železo) roste rychlost oxidace sulfidů a zvyšuje se celková rychlost zvětrávání. Takto kontaminované vody vstupují do čistírny důlních vod (ČDV).

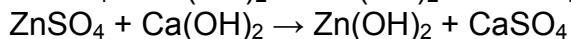
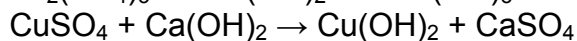
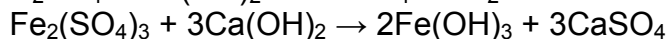
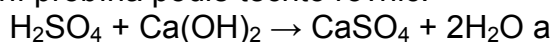
Sledování změn chemického složení důlních vod

Rok	Průtok l.s ⁻¹	pH	NL mg.l ⁻¹	RL mg.l ⁻¹	Cu mg.l ⁻¹	Pb mg.l ⁻¹	Zn mg.l ⁻¹	Mn mg.l ⁻¹	Fe mg.l ⁻¹	SO ₄ mg.l ⁻¹
1990	78,10	11,9	536	503	2,60	0,12	3,16	5,50	25,2	206
1991	102,50	11,6	1396	894	11,75	2,08	13,00	7,00	59,0	407
1992	95,27	11,3	559	716	5,70	0,10	7,60	5,40	37,6	330
1993	79,18	11,5	1697	1328	6,50	0,02	10,00	8,50	57,9	306
1994	70,10	11,3	815	842	9,60	1,50	16,00	6,00	50,0	396
1995	64,32	3,0	79	692	7,58	0,10	17,65	5,70	38,60	422
1996	76,10	3,2	104	788	9,23	0,08	16,27	5,87	41,75	436
1997	64,80	3,2	71	659	9,55	0,04	14,12	5,48	49,54	389
1.pol.98	61,00	3,2	53	597	6,55	0,03	13,20	3,54	29,21	368
2.pol.98	52,40	3,4	46	666	5,29	0,08	12,09	3,17	16,20	380
1999	69,50	3,8	38	680	4,64	0,01	12,33	2,00	11,25	432
2000	64,00	4,3	42	614	4,43	0,01	10,02	3,75	14,72	372
2001	65,31	4,6	31	601	4,55	0,01	11,25	7,04	13,31	388
2002	54,1	4,0	26	630	3,68	0,004	9,28	5,70	10,13	360
2003	53,1	4,3	20	548	3,44	0,059	8,70	6,48	7,90	335
2004	59,0	3,7	16	575	5,19	0,03	10,14	6,46	13,01	355
2005	61,1	3,9	15	600	3,75	0,005	9,26	6,12	12,68	344
2006	76,6	4,3	23	863	4,35	0,008	9,37	6,75	13,36	349
2007	72,3	3,6	15	547	4,57	0,01	10,76	5,12	13,56	321
2008	82,2	3,5	16	513	4,33	0,004	9,43	3,97	10,84	317
2009	78,1	3,9	12	435	3,93	0,011	11,44	4,37	8,42	307
2010	98,1	4,1	18	420	3,58	0,004	8,19	4,62	8,75	307

Nyní k vlastní technologii:

Na neutralizační stanici (NS) dochází k dávkování vápenné suspenze Ca(OH)_2 do důlních vod, čímž se zvýší hodnoty pH z cca 3,5 až 4 na 9,5. To způsobí, že se těžké kovy vysráží ve formě kalů (shlukováním vloček hydroxidů, klesajících ke dnu).

Srážení probíhá podle těchto rovnic:



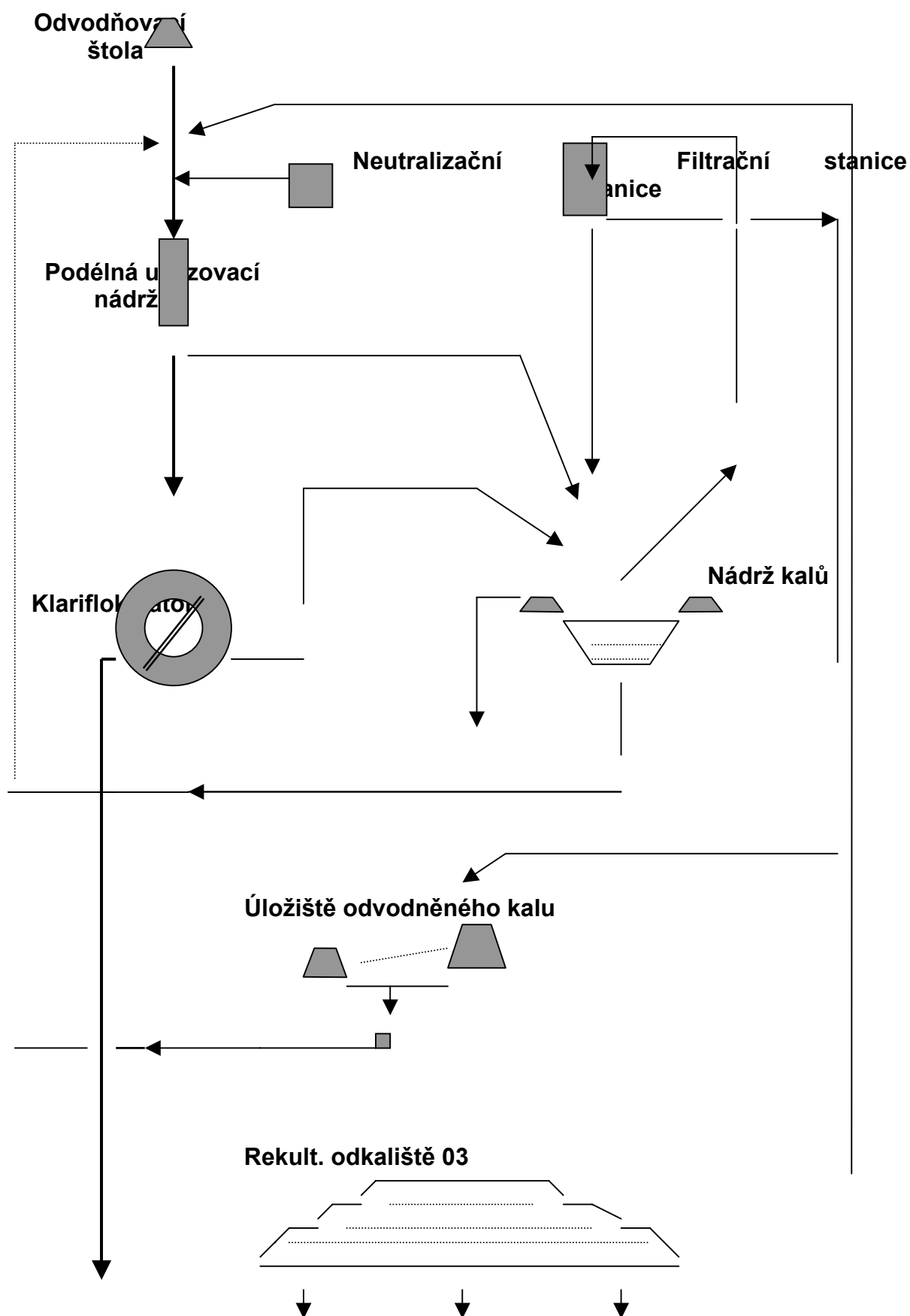
Součástí kalů jsou tedy především: hydroxid železitý, síran vápenatý, hydroxid měďnatý a další hydroxidy. Kaly ve dvou následujících stupních procesu čištění důlních vod (podélná usazovací nádrž a klariflokulátor) sedimentují a jsou přečerpávány do nádrže kalů s objektem filtrační stanice (hustota kalů dosahuje 40 g/l). Vyčištěná voda odtéká do retenčních nádrží, kde dochází k usazení nejjemnějších podílů nezachycených předchozími stupni. Retenčními nádržemi voda proteče během čtyř dnů a následně vtéká do povrchové vodoteče Zlatý potok.

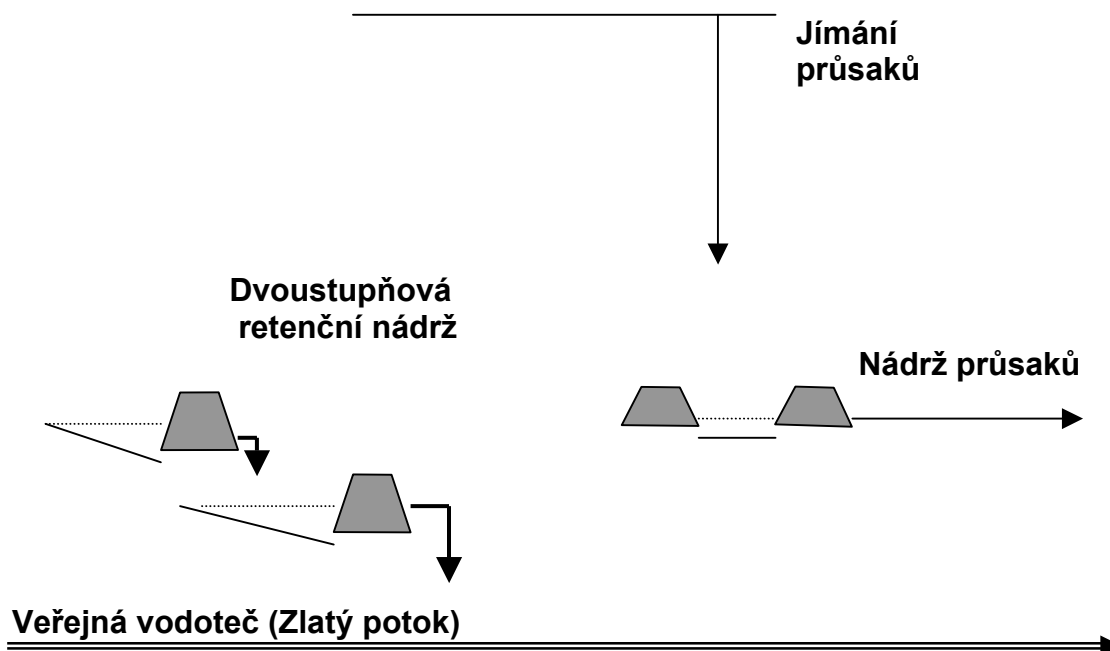
Kaly jsou po naplnění nádrže kalů čerpány do filtrační stanice (FS), kde jsou na lisech zbaveny částečně vody. Poté jsou deponovány na úložiště odvodněných kalů.

Roční produkce dosahuje 2.500 tun v mokré váze.

Průsakové vody z odkaliště, které jsou jímány systémem kanálů a studní, jsou sváděny do nádrže průsaků a následně přečerpávány před ústí odvodňovací štolý na začátek celého procesu čištění důlních vod. Za rok je vyčištěno v průměru 3 miliony m^3 důlních vod při spotřebě cca 300 tun mletého vápna. Z tohoto množství je průsakových vod cca 400 tis. až 500 000 m^3 .

Schéma úpravy důlních a průsakových vod





Objem podélné usazovací nádrže (PUN) činí cca 420 m³ a objem klariflokulátoru (KF) 1 500 m³. Nádrž kalů má provozní objem cca 16 200 m³ a nádrž průsaků cca 3 500 m³.

Průsakové vody

Rok	pH	NL	RL	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
1994	5,3	15	1175	656	0,15	7,12	13,05	6,88
1995	5,5	18	1026	627	0,11	5,54	9,11	6,1
1996	5,6	17	1119	640	0,12	5,87	9,98	4,68
1997	6,7	12	693	424	0,09	1,32	4,98	6,35
1998	6,3	7	723	444	0,07	2,13	4,52	5,69
1999	7,2	7	606	378	0,02	0,92	0,82	1,8
2000	7	13	600	339	0,02	0,28	1,21	3,14
2001	7,2	9	584	345	0,02	0,33	0,99	5,8
2002	6,8	15	546	346	0,01	0,46	2,46	3,41
2003	7	6	576	340	0,02	0,42	1,25	1,67
2004	6,2				0,08	2,11	2,15	7,92
2005	6,1				0,04	1,93	2,44	8,42
2006	6,1				0,07	1,55	3,84	8,95
2007	6				0,03	1,75	3,29	8,43
2008	6,5				0,03	0,94	3,78	7,72
2009	6,8				0,03	0,77	1,43	5,19
2010	6,3				0,013	0,76	2,82	7,02

Vývoj chemismu průsakových vod je ve stručnosti znázorněn ve výše uvedené tabulce.



Ústí odvodňovací štoly



Odvodňovací štola s neutralizační stanicí v zimě

Z grafů uvedených níže je patrný trend snižujících se obsahů jednotlivých kovů, především je to markantní u železa. Souvisí to částečně s tím, že v roce 1998 se přestaly čerpat vody z hlubších pater ložiska, a také již pravděpodobně došlo k vyloužení většiny zbytků pyritu a tedy trojmocného železa ve formě hydroxidů a nastává „éra“ manganu.

Přičemž chemismus čerpaných vod z nižších pater vykazoval podstatně nižší hodnoty než např. vody z ložiska ZHJ a ZHHS na 3. patře. Obsahy v mg/l byly v tomto rozsahu: pH 6,1-6,7; NL 40-100; RL 380-540; Cu 0,01-0,20; Pb 0,01; Zn 0,3-1,3; Mn 6,0-7,6; Fe 15-50 a SO₄ 210-270.

Oxidace Mn je zpožděná proti Fe – pokud je ve vodách obsaženo vysoké procento železa, bude Fe na svou oxidaci spotřebovávat prakticky veškerý dostupný kyslík a mangan bude dále volně migrovat. Až po obnovení oxidačního charakteru vod začne být Mn oxidován a vázán do síranů a hydroxidů. Tím se bude snižovat jeho koncentrace. Lze to pozorovat v důlních chodbách.

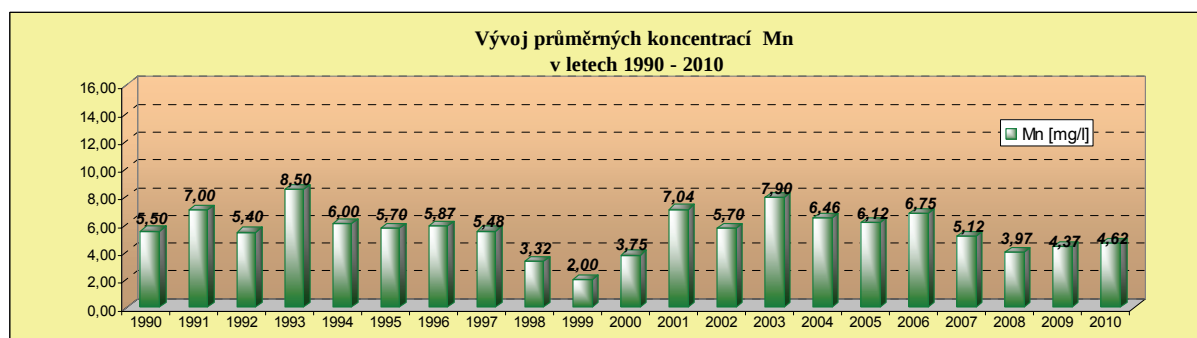
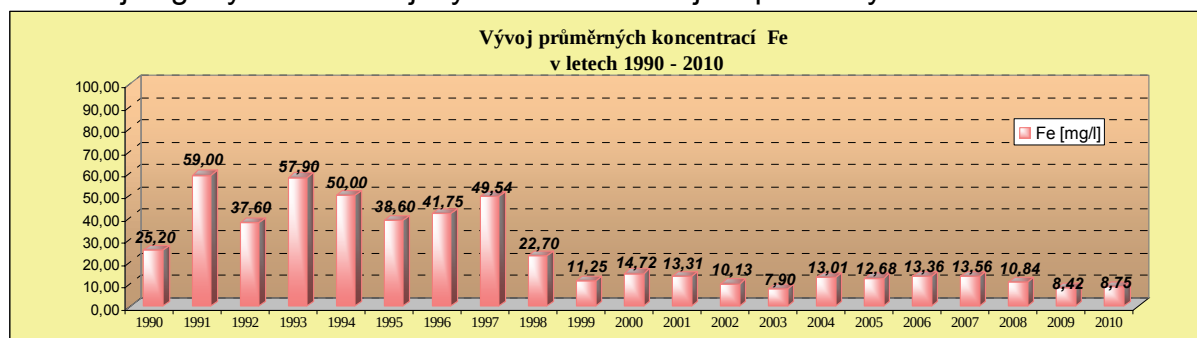
Srážení ostatních rozpuštěných kovů (Cd, Mn, Co, Ni) probíhá obdobně. Pb vypadává již při zvětrávání jako málo rozpustný PbSO₄.

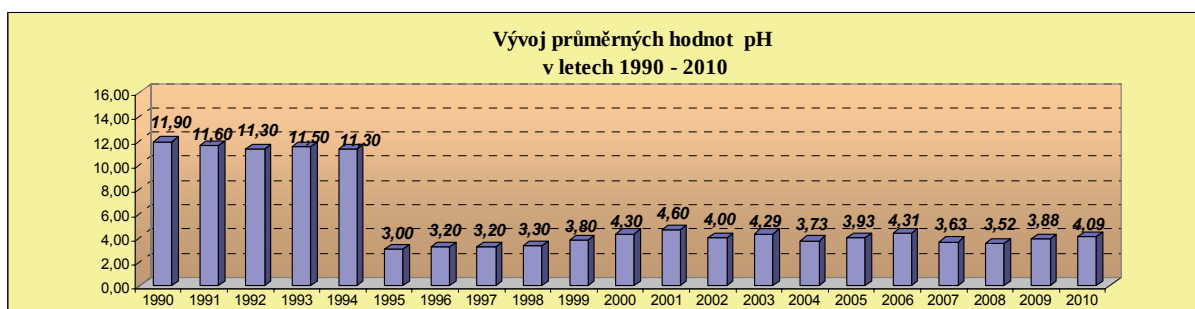
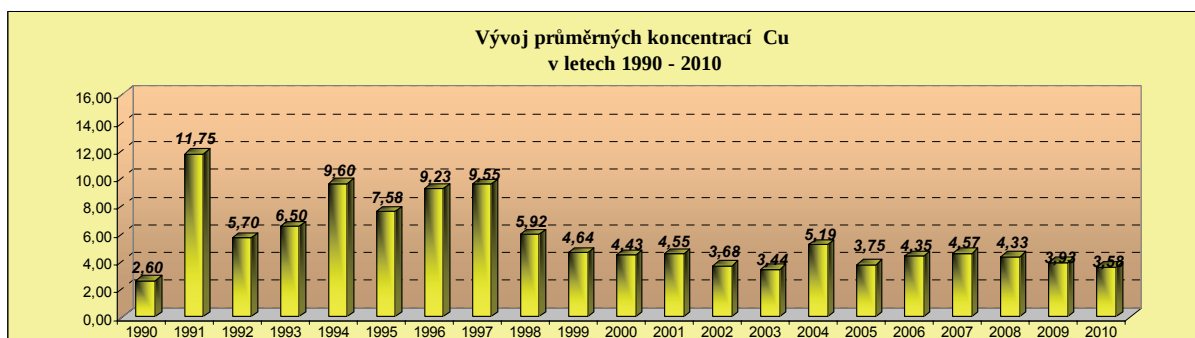
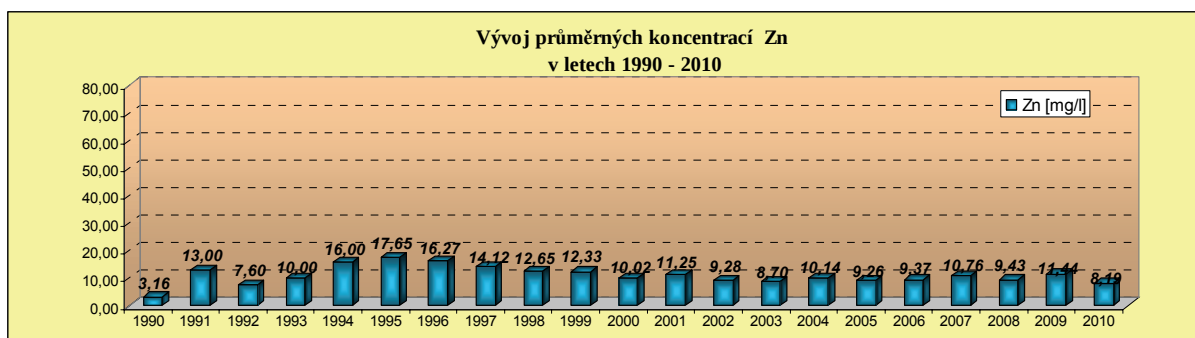
Závěrem lze konstatovat, že za 17 let od skončení těžební činnosti došlo k výraznému zlepšení kvality důlních vod. Zjevné je to u obsahu železa, u ostatních kovů je pouze patrný trend klesajících obsahů a mírné zvyšování pH.

Vzhledem k obrovské rozfáranosti revíru to lze považovat za příznivý stav. Následující roky ukáží, zda se zlepšování bude pohybovat geometrickou řadou nebo lineárně.

Proti předpokladům je pouze množství vytékajících vod. V posledních letech je patrné výrazné zvýšení průtoků. Naopak u průsakových vod se dá pozorovat mírné snižování množství. Souvisí to pravděpodobně s opravou obtokového příkopu, který odklání Svatý potok mimo infiltrační oblast odkaliště O3.

Následující grafy dokumentují výše zmíněné údaje a poznatky.











Úložiště odvodněného kalu v roce 2007



Ukázka usazených kalů při jejich odtěžování v RN1





