

Arnošt GRMELA

Technical University of Ostrava, Institute of Geological Engineering,  
708 33 Ostrava –Poruba, 17. listopadu Str., Czech Republic

## PRZEJAWY HYDROGEOCHEMICZNEJ STABILIZACJI WÓD KOPALNIANYCH W LIKWIDOWANYCH BASENACH WĘGLONOŚNYCH REPUBLIKI CZESKIEJ

**Streszczenie.** Od połowy lat dziewięćdziesiątych w Republice Czeskiej trwa proces zatapiania likwidowanych kopalń, a nawet dużych fragmentów zagłębi węglonośnych. Artykuł prezentuje przykłady kształtowania się trendów zmian zawartości głównych zanieczyszczeń wód pochodzących z wyrobisk zamykanych kopalń.

## HYDROGEOCHEMICAL STABILIZATION OF MINE WATERS IN THE ABANDONED COAL BASINS OF THE CZECH REPUBLIC

**Summary.** Since middle ninetieth liquidated mines and the whole coal basins in the Czech Republic are gradually flooded. The paper presents case studies depicting hydrochemical trends in contents of main observed pollutants in mine waters from mines, which are in closure.

### 1. Wprowadzenie

Od drugiej połowy lat dziewięćdziesiątych nastąpiły wyraźne zmiany w aktywności górniczej na terenie Republiki Czeskiej. Zakończono eksploatację węgla kamiennych w czeskiej części zagłębia dolnośląskiego (DP), w rejonie zagłębia rosicko-oslavanskiego (ROR), w zagłębiu kładeńskim (KP) a w czeskiej części zagłębia górnośląskiego (HP) w rejonie ostrawskim (OP) i petrzwaldskim (PP) – rys.1. W konsekwencji zaniku i likwidacji wymienionych rejonów górniczych powstały nieodwracalne zmiany, silnie wpływające na środowisko naturalne.



Rys 1. Obszary badań (objaśnienia w tekście)  
Fig. 1. Studied areas (explanations in the text)

Jednym z zasadniczych zagadnień stało się rozwiązanie problemu wód kopalnianych dopływających do systemu hydraulicznego wyrobisk górniczych likwidowanych kopalń. W

większości przypadków przyjęto koncepcję rozwiązania polegającego na zrzucie wód kopalnianych do cieków powierzchniowych.

Przy ograniczeniu aktywności górnictwa i likwidacji kopalń w zachodniej części (OP) i centralnej części zagłębia górnośląskiego należy wziąć pod uwagę m.in. tymczasowe czerpanie wód kopalnianych i utrzymywanie ich zwierciadła w zatopionych wyrobiskach na poziomie, który uniemożliwi przepływ wód do pozostałej, czynnej części rejonu karwińskiego. Wody kopalniane są zrzucane do zlewni Odry (Ostrawica i Strużka) i oddziałują na jakość wód powierzchniowych, wpływających następnie na terytorium Polski. Wody z terenów zagłębia ROR odprowadzane są do Oslavy (zlewnia Dunaju). Wody z likwidowanego zagłębia DP trafiają do Potoku Lampertickiego (zlewnia Łaby), część obszarów górniczych leży w zlewni Bobru (zlewnia Odry).

## 2. Zmiany chemizmu wód kopalnianych

Wody zgromadzone w podziemnej przestrzeni likwidowanych kopalń mają charakter mieszany. Pochodzą one z trzech podstawowych źródeł:

- naturalnych wód złożowych i pozazłożowych masywu karbońskiego i jego podłoża,
- przedczwartorzędowych utworów pokrywowych karbonu:
  - HP - miocen (dolny baden),
  - ROR - relikty górnej kredy (cenoman-turon), miocen (dolny baden),
  - KP - relikty górnej kredy (cenoman-turon) i neogen,
- czwartorzędowych wód infiltrujących przez okna hydrogeologiczne, wprost z cieków powierzchniowych lub płytkich poziomów wód podziemnych.

Tabela 1

Dopuszczalne wartości parametrów wód powierzchniowych zlewni Odry podczas zrzutu wód ze zlikwidowanych kopalń w poszczególnych regionach

Niecka ostrawska (OP)							
Lokalizacja	mineralizacja	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl			Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	
Przepływ m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>			<10	10-16	>16		
Rzeka Ostravice Muglinov	1000 mg.l <sup>-1</sup>	300 mg.l <sup>-1</sup>	350 mg.l <sup>-1</sup>			5 mg.l <sup>-1</sup>	
Rzeka Odra Bohumín	1000 mg.l <sup>-1</sup>	200 mg.l <sup>-1</sup>	350	300	250	5 mg.l <sup>-1</sup>	
Niecka dolnośląska (DP)							
Lokalizacja	mineralizacja	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Hg	Zn	Cd	
Lampertický potok	2400 mg.l <sup>-1</sup>	900 mg.l <sup>-1</sup>	400 mg.l <sup>-1</sup>	0,006 mg.l <sup>-1</sup>	1,00 mg.l <sup>-1</sup>	0,05 mg.l <sup>-1</sup>	
Niecka Rosice - Oslava. (ROR)							
Lokalizacja	mineralizacja	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	Fe <sup>całk</sup>	Zn	Ca <sup>2+</sup>	Ni
Sztolnia Dědičná Oslavany	6410 mg.l <sup>-1</sup>	3388 mg.l <sup>-1</sup>	706,1 mg.l <sup>-1</sup>	75,2 mg.l <sup>-1</sup>	1,00 mg.l <sup>-1</sup>	441 mg.l <sup>-1</sup>	0,23 mg.l <sup>-1</sup>

Uwaga: przed zrzutem do Oslavy wody kopalniane kierowane są do oczyszczalni.

Wody technologiczne, które w przeszłości tworzyły główną część wód kopalnianych, współcześnie praktycznie nie istnieją. Głównymi wskaźnikami jakości wód, problematycznymi z punktu widzenia zrzutów do wód powierzchniowych, są mineralizacja, pH, stężenia: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl, Fe<sup>2+,3+</sup> i Mn<sup>2+</sup>.

Monitorowane są jednakże stężenia innych jonów, metali ciężkich, substancji nierozpuszczalnych, ChZT<sub>Cr</sub>, BZT<sub>5</sub> oraz innych substancji typowych dla danych lokalizacji.

Podstawowym aktem prawnym, dotyczącym zezwolenia na dopuszczalne zanieczyszczenie wód powierzchniowych, jest ustawa nr 61/2003 Sb, mówiąca o

wskaźnikach i dopuszczalnych stężeniach substancji w wodach powierzchniowych, do których odprowadzane są wody dołowe. Na przykład w celu ochrony jakości wód Odry w wodach odprowadzanych z rejonu OP należy utrzymywać parametry przedstawione w tabeli 1.

#### Jon siarczanowy

Zawartość jonu siarczanowego dla rejonu ostrawskiego była prognozowana na podstawie analizy wód z izolowanych części tego obszaru, według studium wykonanego w roku 1994. Za podstawę przyjęto wówczas jakość wód dołowych pochodzących ze wszystkich źródeł, które po ukończeniu działalności górniczej tworzyły mieszaninę wzbogaconą w jony  $\text{SO}_4^{2-}$  dzięki dopływowi wód ze zrobów oraz z rozpuszczania residuum po wietrzeniu pirytu w starych wyrobiskach (tab. 2, rys. 2). Oczekiwane stężenia jonu siarczanowego wynosiły ponad 1500 mg/l.

Głównym źródłem  $\text{SO}_4^{2-}$  w wodach dołowych nie są dopływy zanieczyszczonych wód powierzchniowych [4] czy zbiorników w masywie skalnym, lecz rozkład pirytu w materii węglowej i otaczającym środowisku skalnym [1]. Utlenianie pirytu przebiega przy współudziale bakterii w środowisku tlenowym. Występuje ono także przy niewielkiej wilgotności, np. w obecności wody kondensacyjnej - warunkach typowych dla środowiska znajdującego się pod wpływem działalności górniczej.

Tabela 2

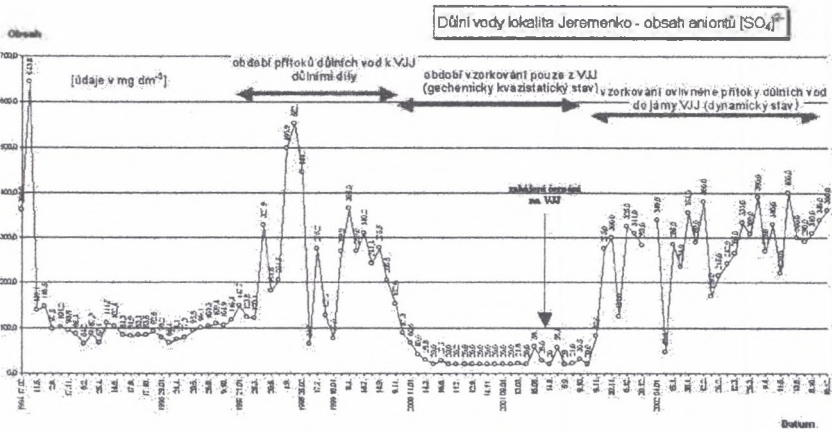
Przeciętne wartości parametrów wód kopalnianych niecki ostrawskiej (OP)

		SR	Cl	SO <sub>4</sub>	Mg	Ca	Fe	Na	NSE	ChZT <sub>Cr</sub>	I	Br
Kopalnia Heřmanice	1994	5799	2780	432	69	144	0,16	1950	0,010	500	2,20	12,49
	1996	2917	1512	144						101		
	1997 uk.	6671	3551							714		
Kopalnia Zárubek	1994	1619	199	638	51	126	0,09	280	0,045	40		
	1995	1503	163	631	49	121	0,08		0,085	43	0,00	3,33
	1996		157	950	65	134	0,17		0,025			
	1997 uk.	2189	141	1017	70	186	0,12		0,010			
Kopalnia Jeremenko	1994	15170	8438	107	146	131	0,19	5050	0,040	1568		
	1995	15235	8482	83	146	181	0,14		0,000	1470	3,17	40,00
	1996		6522	99	117	191	0,10		0,015			
	1997	12387	6598	205	126	192	0,08		0,030			
	1998		6020	275	154	160						
	1999	15569	7832	77	170	179	0,21	5170			4,50	40,50
	2000	16975	9266	26	158	164	0,33		0,326			
	2001	19200	10779	107	163	288	7,37	5190	0,060	206		
2002	21764	11026	290	298	362	12,41		0,018				
Kopalnia Šverma	1994	6333	1101	1308	89	72	0,74	2108	0,060	189	3,98	5,46
	1995	5407	930	576	77	78	0,41	2649	0,080	250	3,91	5,19
	1996 uk.	8583	3399	1644	105	101			0,000			
Kopalnia Odra	1994	5220	1244	958	68	78	1,00	1740	0,045	171	2,90	5,73
	1996	5291	1585	640	73	61			0,030	214		
	1997 uk.	5279	1618	546	71	43			0,030			

uk. - zakończono

SR - subst. rozpuszczone

NSE - niepolarne substancje ekstrahowalne



(Grlmek, P., 2003)

Rys. 2. Siarczany w wodach rejonu „Jeremenko”

Fig. 2. Sulfates in mine waters from the „Jeremenko” area

### Jon chlorkowy

Źródłem Cl<sup>-</sup> w wodach dołowych są praktycznie jedynie dopływy wód podziemnych z pokrywowych utworów miocenu, utworów karbonu lub jego głębszego podłoża. Dlatego też dane zaprezentowanych przykładach znacznie się między sobą różnią. Z tego punktu widzenia rejon DP, gdzie stężenia chlorków nie przekraczają 42,8 mg/l (limit 350 mg/l), nie przedstawia problemów. Poważniejsze problemy występują w rejonie ROR, gdzie stężenia chlorków w wodach dołowych sztolni Dědičné wykazują stężenia 840 mg/l (średnio 706 mg/l). W czeskiej części zagłębia górnośląskiego stężenia Cl<sup>-</sup> w wodach miocenu wzrasta w południowo-zachodniej części basenu Odry od około 2000 mg/l, do około 19000 mg/l w południowej i północno-wschodniej części basenu ostrawskiego - Jeremenko, Heřmanice.

Stężenia chlorków stanowią problem przy utylizacji wód dołowych. Dla prognozy stężeń Cl<sup>-</sup> w czerpanych z rejonu OP wodach użyto analiz wód dołowych z okresu relatywnej stabilizacji w roku 1996 (tab. 2).

Z całkowitej objętości dopływających wód i przeciętnych stężeń w odpowiednim zakładzie górniczym, na podstawie średnich ważonych obliczono przewidywane stężenia chlorków na ponad 3 g/l. Szereg czasowy analiz wód nie potwierdza jednak tej wstępnej prognozy. Stężenia jonów chlorkowych wahają się bowiem około 10 g/l (rys. 3).

W początkowym okresie czerpania wartości stężeń były ekstremalnie wysokie (do 14 g/l). Zjawisko to nie było efektem wzrostu stężeń chlorków w obrębie całej zatopianej przestrzeni ale efektem wtórnego rozpuszczania NaCl, wykrystalizowanego na ścianach wyrobiska w okresie, gdy było ono suche. Potwierdza to także i stężenie Na<sup>+</sup>, który znajdował się w warunkach równowagi chemicznej z Cl<sup>-</sup> typowej dla halitu.

Na podstawie współczesnych obserwacji jakości wód dołowych stężenia SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> wydają się nie stanowić problemu. Na podstawie analiz wód z innych likwidowanych rejonów, charakteryzujących się wahaniami zwierciadła, potwierdziło się założenie o możliwości ustalania pierwotnych, ekstremalnych wartości stężeń. Na wykresie (rys.2) wyraźnie widać wpływ zróżnicowanego zawodnienia masywu skalnego na stężenia siarczanów w czerpanych wodach.

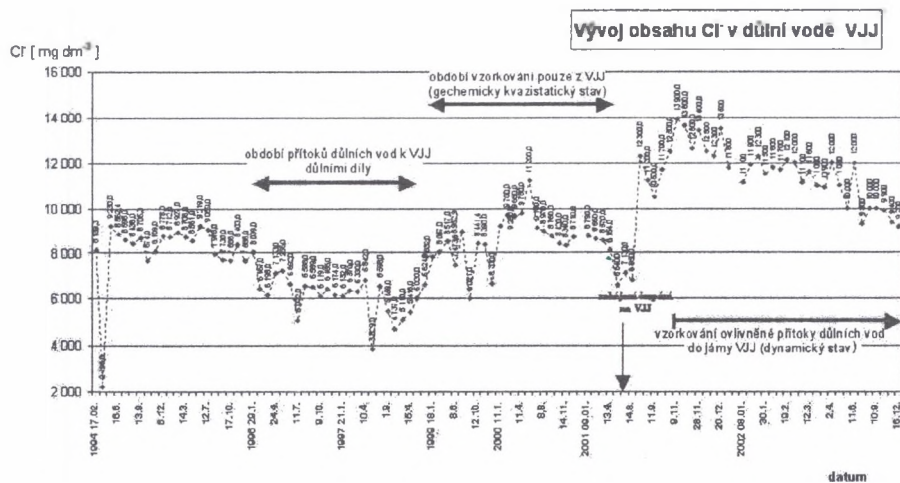
Żelazo jest w wodach dołowych bardzo wrażliwym wskaźnikiem, silnie reagującym na zmiany warunków fizykochemicznych procesów wietrzenia środowiska skalnego w

obrębie złoża. Źródłem żelaza jest proces wietrzenia pirytu ( $\text{FeS}_2$ ) obecnego akcesorycznie w materii węglowej. Obecność form żelaza w wodach dołowych jest nie tylko prostą funkcją pH i obecności wolnego i rozpuszczonego w wodzie  $\text{O}_2$  oraz funkcją potencjału Eh ale także efektem obecności bakterii acidofilnych, katalizujących  $\text{Fe}^{2+}$  na  $\text{Fe}^{3+}$ . W warunkach kopalnianych, gdzie wpływy antropogeniczne sięgają głęboko pod powierzchnię terenu, doniosłą rolę oprócz reakcji abiotycznych, odgrywają także i biotyczne.

Przedstawione fakty są kluczowe dla oszacowania zanieczyszczenia wód dołowych jonami żelaza po zakończeniu działalności górniczej i uformowaniu się warunków quasi-statycznych w systemie wód podziemnych: ograniczenie stężeń rozpuszczonego tlenu i zmieniającymi się w czasie wartościami pH i Eh [2, 3, 5].

Tego typu warunki występują na głębokościach od kilkudziesięciu metrów aż do około stu metrów poniżej ustabilizowanego poziomu zatopienia wyrobisk (w przypadku rejonu OP na głębokości około -400 do -500 m p. p.m). Przy utrzymywaniu zwierciadła wód kopalnianych w przestrzeni starych wyrobisk, na głębokościach od -389,5 do 371,5 m wytwarzają się dogodne warunki dla procesów utleniania i ucieczki jonów żelaza do czerpanych wód.

Dotychczasowy monitoring jakości wód dołowych w trakcie eksploatacji kopalń rejonu OP oraz monitoring wód w trakcie zatapiania dowodzą, iż stężenia żelaza są o wiele niższe od wartości dopuszczalnych dla zrzutów tych wód do odbiorników powierzchniowych (tab. 2).



(z ústředí, P., 2003)

Rys. 3. Chloridy v vodách rejonu „Jeremenko”

Fig. 3. Chlorides in mine waters from the „Jeremenko” area

Observace prováděné podczas likvidacji kopalń rejonu OP [6] dowodzą jednak, że z czasem może dojść do znacznych zmian (negatywnych). Przykładem jest była kopalnia Odolov, gdzie po zatopieniu w 1995 roku doszło do dopływów wód ze starych zrobów ze sztolni Ida (o wydajności 160 l/s przy stężeniach  $\text{Fe}^{\text{całk}}$  do 310 mg/l. Dopuszczalne stężenie w tym czasie wynosiło 5 mg.l<sup>-1</sup> (wg rozporządzenia 82/1999 Sb, a wg rozporządzenia 61/2003 Sb - 2 mg/l).

### 3. Podsumowanie

Wody kopalniane, hydrogeochemicznie ustabilizowane podczas długotrwałej eksploatacji kopalń, w przypadku zmiennych warunków zasilania (zróznicowane źródła i ich jakość) znajdują się w sytuacji wyraźnych zmian hydrogeochemicznych. trendy tych zmian, ich przyczyny i prognozy dalszego ich rozwoju są wystarczającą informacją dla ilościowej i jakościowej regulacji ich utylizacji, w kontekście ochrony środowiska. W konkretnych przypadkach likwidowanych kopalń (górnosląskich, dolnosląskich i z rejonu zagłębia rosicko-oslawskiego) oszacowano stopień wpływu tych działań na środowisko. Uczyniono to na podstawie przyjętych modelowych wariantów objętości czerpanych wód i stężeń obecnych w nich zanieczyszczeń, jakości wód i wielkości przepływu w odbiornikach wód powierzchniowych,

Zagrożenie wód powierzchniowych przez podwyższoną mineralizację występuje zwłaszcza w pierwszej fazie, gdyż w większości przypadków brak już wód technologicznych i nie wzrasta jeszcze infiltracja wód prostych i słabo zmineralizowanych do wyrobisk górniczych. Po pewnym czasie w efekcie wzniosu zwierciadła wód kopalnianych dochodzi do ograniczenia dopływu wód ze źródeł naturalnych, następuje zatem spadek wydatku czerpanych (i odprowadzanych wód) Oznacza to, że ilość transportowanych substancji w mieszaninie wód dołowych i powierzchniowych będzie stała, po hydraulicznej stabilizacji i wytworzeniu się równowagi między dopływami i odpływami w zatopionym systemie wyrobisk. Tak rozumiany okres stabilizacji sięga około dziesięciu lat.

Stężenia jonu chlorkowego i azotanowego w wodach kopalnianych, po ustaleniu się równowagi dynamicznej, nie będą osiągać wartości znanych z okresów eksploatacji kopalń. W pierwszej fazie kształtowania chemizmu w systemie zatopionych wyrobisk wartości stężeń będą osiągały wartości ekstremalne w rezultacie "przepłukiwania" wysuszonych wcześniej starych wyrobisk i wtórnego rozpuszczania halitu.

W przypadku jonu siarczanowego będą wprawdzie występowały spadki stężeń, lecz w stanie quasi-ustalonym przy bezpośrednim odprowadzaniu wód kopalnianych do odbiorników powierzchniowych wystąpią problemy z utrzymaniem jakości wód zgodnie z rozporządzeniem 61/2003 Sb.

W większości przypadków będzie niezbędne uzależnienie reżimu kontrolowanego odprowadzania wód kopalnianych od objętości przepływu w odbiorniku powierzchniowym i od stężeń zanieczyszczeń obecnych w wodach odbiornika. Wstępne oczyszczanie wód kopalnianych przed ich zrzutem do wód powierzchniowych może także okazać się niezbędne.

Kolejnym z zanieczyszczeń obecnych w wodach dołowych są jony żelaza. W przypadku ich stężeń osiągnięcie stanu quasi-ustalonego będzie procesem wieloletnim (rzędu dziesiątków lat), przy czym do osiągnięcia stanu zgodnego z wymaganiami stawianymi jakości wód powierzchniowych może nie dojść w ogóle.

#### LITERATURA

1. Bajtoš P.: Režim banských wód rudných ložísk Spišsko-Gemerského Rudohoria. Čas. Podzemná voda, R. VI, č. 2/2000 10. ISSN 1335-1052, s. 74-80. Bratislava 2000.
2. Bujok P.: Možnosti ukládání tekutých odpadů v propustných vrstvách- Konf. ODPADY, ISBN 80-7078-85-993, ss. 65-70. Spišská Nová Ves, Slovensko 1998.
3. Hudáček M.: Zmeny chemizmu banských wód po opustení banských diel. Čas. Podzemná voda, III, No.2, pp..112-117. Bratislava, Slovak Republic 1998.
4. Hyánková K., Némethy, P., Ženišová, Z.: Zmeny chemického zloženia povrchovej vody pri infiltrácii. Vodohospodársky časopis, 39, 3-4, 280-292. Bratislava 1991.
5. Marschalko M.: The measurements of discharges on Ruisseau de ST. Pierre river, University of Savoie, France, MS, 1996.

6. Rapantová N.: Results of Contaminant Transport Monitoring in Aquatic Environment Performed during Liquidation of the Mine J. Šverma. Kierkrz: „Współczesne Problemy Hydrogeologii“. 4.-6.9.1997, 427-430, 1998.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Pozzi  
Profesor Politechniki Śląskiej

### Abstract

Since middle ninetieth liquidated mines and the whole coal basins in the Czech Republic are gradually flooded (Ostrava and Petřvald part of the Upper Silesian Coal Basin, the whole Czech part of the Lower Silesian Coal Basin, Rosice-Oslavany Coal Basin, Kladno Coal Basin). Mine waters, hydrogeochemically stabilized during long period of active mining, are under changed conditions of recharge (sources and their quantity) in the state of expressive hydrogeochemical changes. The trends of these changes, their reasons and prognosis of further development represent important information for qualitative and quantitative regulation of their liquidation and for environmental protection of the disturbed areas. Presented case studies document the existing state and trends in contents of main observed pollutants (sulphates, chlorides, iron, the total dissolved matter and other) in the mixed mine waters of the selected sites in the Czech Republic.