

Stratyfikacja hydrogeochemiczna wód w zatopionych podziemnych wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego

dr inż. Adam Frolik

Streszczenie:

Stratyfikacja hydrogeochemiczna to zróżnicowanie składu chemicznego wód w wyniku procesów zachodzących w wodach podziemnych przy ich przepływie przez środowisko skalne. Publikacja porównuje 2 najlepiej udokumentowane przykłady stratyfikacji hydrogeochemicznej zachodzącej w wyrobiskach górniczych zatopionych podziemnych kopalniach węgla kamiennego w Wielkiej Brytanii i Polsce.

1. Wprowadzenie

Po zamknięciu kopalni i zaprzestaniu pompowania wyrobiska podziemne zostają zatopione wodą, tworząc zbiornik wody stagnującej. Podobnie jak w przypadku statycznego zbiornika, słup wody w takim zbiorniku podlega stratyfikacji hydrogeochemicznej.

Od lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia stratyfikację hydrogeochemiczną rozpoznano w wielu wyrobiskach kopalnianych Wielkiej Brytanii i USA: Cairney, Frost, 1975; Ladwig i in., 1984; Younger, La Pierre, 2000; Jonson, Younger, 2002.

Skład chemiczny wód wypełniających wyrobiska górnicze kształtuje się głównie w wyniku procesów hydrogeochemicznych zachodzących przy infiltracji wód poprzez zwietrzałe skały strefy aeracji. Wśród tych procesów najważniejsze są [Domenico, Schwartz, 1998]:

- rozpuszczanie i rozkład gazu,
- reakcje słabych kwasów z mocnymi zasadami,
- utlenianie minerałów siarczkowych,
- wytrącanie/rozpuszczanie gipsu,
- wymiana kationów,
- reakcje organiczne.

2. Badanie stratyfikacji hydrogeochemicznej w kopalni Frances, w Szkocji

Potwierdzeniem występowania stratyfikacji hydrogeochemicznej wód kopalnianych było pompowanie przeprowadzone latem 2000 r. w kopalni Frances, w Szkocji (Natuall, Younger, 2004). Badania w kopalni Frances stanowią użyteczne informacje jak stratyfikacyjny system się rozwija, i jak może zachowywać się, gdy zostanie naruszony. W tym przypadku hydrogeochemiczna stratyfikacja była wynikiem dopływu lepszej jakościowo wody pochodzącej z zasilania powierzchniowego oraz gorszej jakościowo wody pochodzącej z rozpadu produktów oksydacji pirytu. Wyniki badania wód w kopalni Frances stanowią szczególne dane, pozwalające na zrozumienie zjawiska stratyfikacji i dlaczego jest ona interesująca w praktyce. Początkowy optymizm jaki wynikał z zadziałania systemu stratyfikacyjnego okazał się przedwczesny, bo okazało się, że wypompowana na początku woda reprezentuje jedynie wodę z górnej części wodnej kolumny stratyfikacyjnej. Jakość wody ukształtowana wskutek stratyfikacji podczas pompowania była gorsza niż przewidywano na podstawie prób wody pobranej z różnej części kolumny wodnej przed rozpoczęciem pompowania (stężenia zanieczyszczeń, takich jak żelazo i cynk były 2 rzędy większe niż w próbie pobranej z warstwy wodonośnej).

Pompowanie wody z szybu kopalni Frances odbywało się od 7 sierpnia do 24 września 2000 r. W tym czasie zwierciadło wody obniżyło się o około 3 m. Z analizy warunków

dopływu wody wynikało, że z chwilą odsłonięcia wylotu zatopionego wyrobiska poziomego, w reżimie dopływu wód zaczął dominować ruch turbulentny, przy którym następuje znacznie większe wymieszanie wód niż przy przepływie laminarnym.



Rys.1. Zlikwidowane podziemne kopalnie węgla w Szkocji

Do poboru prób wody z szybu Frances o głębokości 280 m zastosowano próbnik głębokościowy, umożliwiający pobranie prób wody z określonej głębokości. Bezpośrednio w badaniach polowych mierzono: przewodność, alkaliczność, Eh, pH i temperaturę. Nie przefiltrowane próbki wody do analizy na: Ca, Mg, Na, K, Sr, Fe, Al i Mn pobierano do utrwalonych kwasem butelek, natomiast próby anionowe (do analizy na SO₄ i Cl) do niezakwaszonych butelek. Analizy wykonano na Uniwersytecie w Newcastle.

Położenie czujników pomiarowych w szybie Frances dało możliwość głębokościowego opróbowania wód przed rozpoczęciem pompowania. Pomiaru przewodności i temperatury wskazywały na zmiany jakości wód w profilu pionowym. Trzykrotne opróbowanie kolumny wodnej w latach 1995-1998 wykazało, że zasadnicza jej część zawiera wodę dość dobrej jakości. Pogorszenie jakości wody następowało w dolnej części kolumny wodnej poniżej głębokości 221 m ppt. I tak woda pobrana z dolnej części szybu charakteryzowała się niskim pH (około 5) i wysokim zasoleniem (przewodność 20300 μ S/cm), a zawartość żelaza dochodziła do 800 mg/l, podczas gdy woda z głębokości 200 m (około 80 m nad dnem szybu) miała już lepszą jakość (np stężenie żelaza <10 mg/l, pH około 7 i przewodność około 3000 μ S/cm). Opróbowanie pionowe przed próbnym pompowaniem wskazywało więc na występowanie stratyfikacji hydrogeochemicznej w tym systemie.

Po rozpoczęciu pompownia, początkowo pompowano wodę z górnej części słupa o dobrej jakości, później gdy zaczęła dopływać woda z wyrobisk poziomych, pompowano wodę o coraz gorszej jakości. W tabeli 1 przedstawiono zmiany składu chemicznego wody podczas

testu. Początkowo woda miała pH 6,5, alkaliczność około 400 mg/l CaCO₃ i zawartość żelaza około 10 mg/l. Po 16 godzinach pompowania, woda stała się kwaśna pH 4,8, alkaliczność 75 mg/l CaCO₃ a zawartość żelaza 400 mg/l. Zawartość glinu (wcześniej nie było danych) wynosiła około 15 mg/l. Pod koniec pompowania woda nie była alkaliczna (alkaliczność 0), pH wynosiło około 4,8, zawartość żelaza wzrosła do blisko 600 mg/l a glinu do 52 mg/l.

Tabela 1. Zestawienie wyników opróbowania wód kopalnianych na różnych etapach pompowania w kopalni Frances

Czas pompowania	Odczyn	Alkali- czność	Fe	Mn	Al	Na	K	Cl	SO ₄	$r = (rCL - (rNa + rK)) / rCL$
	pH	mg/l CaCO ₃	mg/l							
początek	6,34	437	6,5	3,41	p.p.o.	955,5	46,5	14930	4975	0,90
1 dzień	5,22	75	406,7	24,96	14,65	4316,0	98,0	13063	4223	0,48
9 dzień	4,99	0	546,8	26,75	22,58	5122,5	108,0	18324	6755	0,56
48 dzień	4,80	0	596,0	24,90	51,6	4935,5	94,0	18281	6254	0,58

p.p.o: poniżej poziomu oznaczenia - 0.5 mg/l dla Al.

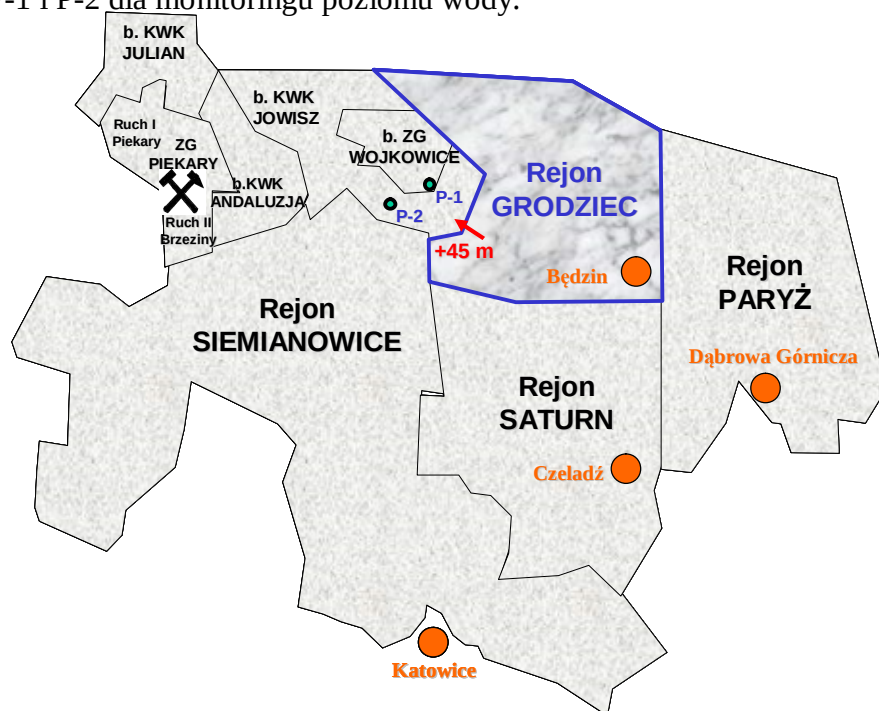
W oparciu o wyniki monitoringu kopalni Frances Natuall, Younger 2004 sformułowali następujące wnioski:

- (1) Zatopiony szyb stanowi interesujące wyrobisko, w którym ma miejsce stratyfikacja wody. Gorszej jakości woda znajduje się w obrębie dolnej części szybu lepsza powyżej i że przy zmianie warunków przepływu stratyfikacja powstała w systemie może zostać utracona. Sprzyja temu ruch turbulentny, który rozwinął się po odsłonięciu bocznego wyrobiska, które miało połączenie z sąsiednią kopalnią.
- (2) Nagłą zmianę składu chemicznego w trakcie pompowania wody w kopalni Frances autorzy tłumaczą wymieszaniem wód. Uważają oni, że początkowo spompowano wodę dobrej jakości pochodzącą z górnej części kolumny wodnej, a dopiero później bardziej zanieczyszczoną wodę pochodzącą z podstawowej kolumny stratyfikacyjnej szybu z jego dolnej części.
- (3) Wszystkie wody podczas testu były wynikiem mieszania w różnych proporcjach obu tych wód. Jakkolwiek o pochodzeniu wód karbońskich świadczą chlorki, to ponieważ ich zawartości w próbach były mało zróżnicowane, autorzy uwzględnili zawartość żelaza, które zachowuje się mniej konserwatywnie niż chlorki. Obliczenia wykazywały, że koncentracja żelaza mogła wynosić od 3,4 do 766 mg/l. Uznali oni, że na początku szyb był opróżniany głównie z wody dopływającej z zasilania powierzchniowego, natomiast na większych głębokościach rozwinęła się stratyfikacja, która była wynikiem dopływu bardziej zanieczyszczonych wód dopływających z chodników mających związek z zakwaszonymi wodami wypełniającymi wyrobiska sąsiedniej kopalni Randolph. Z przeliczeń bilansowych uzyskali, że wody kopalniane pompowane z kopalni Frances były wynikiem wymieszania 30 % zasolonych wód morskich (wody złożowe pochodzące z kopalni Frances) oraz kwaśnych wód pochodzących z drenażu najbardziej zasiarczonych pokładów jak np z Randolph.
- (4) Stratyfikację łatwo jest wykryć, jeśli w szybie możliwe jest opróbowanie pionowe lub koduktometryczne/temperaturowe. Najbardziej użyteczny jest test pompowania jako że daje informacje o kierunkach zmian jakości wody w czasie, ale podczas trwania pompowania musi istnieć warunek t_{min} który może być definiowany:

t_{min} = wydajność pompowania / objętość wody w szybie

3. Badanie stratyfikacji hydrogeochemicznej w kopalni Grodziec, w Polsce

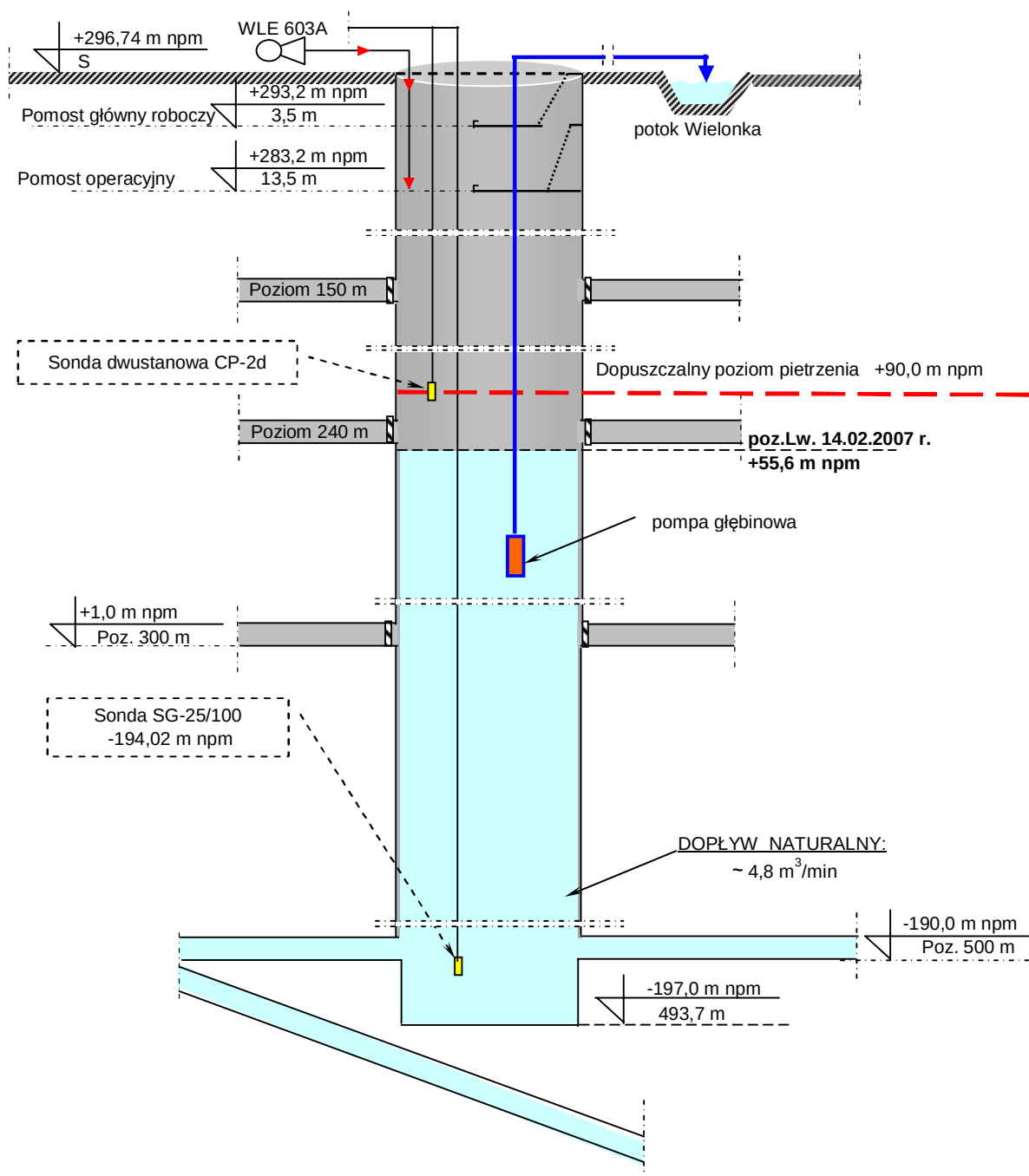
W Polsce najbardziej interesującym i dobrze udokumentowanym przykładem wpływu zatapiania kopalni na skład chemiczny wód jest zatapianie byłej kopalni Grodziec – obecnie Rejon Grodziec Centralnego Zakładu Odwadniania Kopalń w Czeladzi. Odwadnianie wyrobisk Rejonu Grodziec jest prowadzone w szybie II, dla ochrony przed zagrożeniem wodnym czynnej kopalni Piekary. Między tymi kopalniami istniała kopalnia Jowisz (Wojkowice) (rys. 2). Na obszarze kopalni Jowisz zainstalowano dwa głębokie piezometry P-1 i P-2 dla monitoringu poziomu wody.



Rys. 2. Lokalizacja Rejonu Grodziec

Połączenie hydrauliczne między kopalniami Grodziec i Jowisz (poziom +45 m npm) pierwotnie uznawane za bezpośrednie, wskutek zaciśnięcia wyrobisk wypełnionych podsadzką okazało się połączeniem pośrednim filtracyjnym. Dlatego możliwe było podniesienie maksymalnego poziomu piętrenia w wyrobiskach byłej kopalni Grodziec ponad poziom +59 m npm (rzędna poziomu przelewu w przekopie łączącym wschodnią i zachodnią część byłej kopalni Jowisz). Maksymalny dopuszczalny poziom piętrenia ustalony pierwotnie na rzędnej +57 m npm został podniesiony do +90 m npm.

Kopalnia Grodziec miała dwa główne poziomy: 500 m i 300 m (rys. 3). Pod koniec 2008 roku zwierciadło wody w szybie II znajdowało się na rzędnej około +86 m npm. Wyrobiska w interwale głębokości 800 do 210 m poniżej powierzchni terenu zostały zatopione.



Rys. 3. Pompownia głębinowa w szybie II Rejonu Grodziec

Skład chemiczny wody pobieranej z szybu II kopalni Grodziec w różnych fazach zatapiania kopalni przedstawiono w tabeli 2. Natomiast na rys.4 przedstawiono zmiany najważniejszych parametrów składu chemicznego wód kopalnianych w trakcie zatapiania i pompowania wody z kopalni.

Tabela 2. Skład chemiczny wody w Rejonie Grodziec w różnych fazach zatapiania kopalni

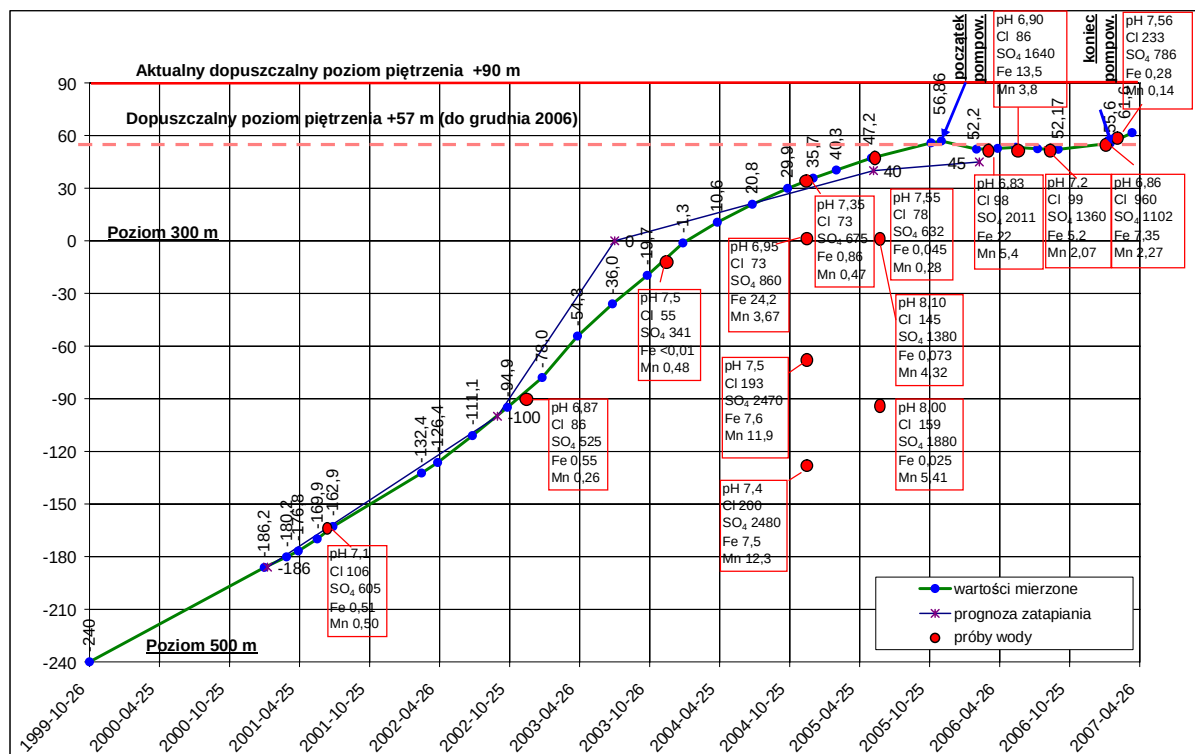
Wskaźnik	pH	Substancje rozpuszcz.	Alkaliczność	Ca	Mg	Fe	Mn	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	$r = \frac{(rCl - (rNa + rK))}{rCl}$
Data		mg/l	mgCaCO ₃ /l	mg/l									
06.07.2001	7,10	1563	755	171,3	79,58	0,52	0,5	192,7	17,75	106,4	605	536,8	-1,94
20.11.2002	6,87	923	821	186	86,5	0,55	0,26	210	16,6	86,5	525		-2,92
01.12.2003	7,90	1141	590,9	126	66,4	0,11	<0,02			60	437	564,3	
02.12.2004	7,50	5107	1390	262,5	178,6	7,6	11,9	1087	41,84	192,6	2470	1135	-7,90
02.12.2004	7,40	5172	1360	252,5	177,4	7,5	12,3	1127	42,23	200,2	2480	1177	-7,87
02.12.2004	7,35	1607	1029	252,5	96,84	0,86	0,47	86,9	20,72	73,14	675	478,9	-1,09
02.12.2004	6,95	1941	1102	254,5	113,5	14,2	3,67	149,2	15,44	73,49	860	536,8	-2,32
01.06.2005	7,55	1600	970	238,5	91,25	0,045	0,28	91,5	10,56	78,24	632	488	-0,93
01.06.2005	8,10	3200	1009	197,8	125,1	0,073	4,32	616,1	27,37	144,5	1380	835,7	-5,75
01.06.2005	8,00	4050	1200	230,5	151,9	0,025	5,41	795,5	34,02	158,6	1880	896,7	-6,93
03.11.2005	7,70	1550	1008	248,5	94,16	<0,01	0,42	81,61	8,99	79,63	625	488	-0,68
30.11.2005	6,60	1300	945	172	125	<0,2	<0,02	61,9	<8	76,22	578	451	-0,35
02.03.2006	6,83	3980	1121	216	149	22	5,37	426	22,7	98,4	2011	743	-5,89
12.06.2006	6,90	3410	1060	200,4	136,1	13,5	3,8	646	23,85	85,62	1640	881	-10,89
08.08.2006	7,20	3080	1446	280	181,3	5,21	2,07	245	18,4	99	1360	770	-2,99
03.12.2006										560	1844		
26.01.2007	6,86	2550	1514	249	216	7,35	2,27	580	16	960	1102	690	0,05
28.02.2007	7,54	3890		272	177	0,28	0,14	80	7,4	233	786		0,44

Analiza danych z monitoringu zatapiania kopalni Grodziec pozwala stwierdzić, że skład chemiczny wód kopalnianych w różnych fazach zatapiania wyrobisk i pompowania wody jest zróżnicowany. Podczas zatapiania kopalni, woda zawierała do 14,2 mg/l żelaza i do 12,3 mg/l manganu. W trakcie piętrzenia wody dopływ wody maleje, spada zawartość chlorków ale wzrasta zawartość siarczanów oraz jonów manganu i żelaza.

Zwracają uwagę wysokie wartości wskaźnika wymiany kationów r , który zwykle jest zbliżony do 0, a w kopalni Grodziec osiąga wartości nawet rzędu -10. Ma to związek z podwyższoną zawartością alkaliów w wodzie (sód + potas). Podobnie wysokie wartości tego wskaźnika występują w przypadku innych zatapianych kopalń w Polsce. Dlatego wody pochodzące z zatapianych kopalń węgla kamiennego w GZW nie mają kwaśnego charakteru. W wyniku wietrzenia minerałów ilastych i reakcji wymiany kationów, woda zostaje wzbogacona w jony sodu i potasu i dlatego wartość pH jest w przybliżeniu równa 7, co jest bardzo korzystne dla środowiska. Dopiero gdy do szybu dopłynęły wody z poziomu 500 m, wskaźnik wymiany kationów zwiększył się do > 0

Zroby kopalni Grodziec zostały zatopione przeważnie wodami infiltrującymi, których skład chemiczny ulegał zmianom w wyniku procesów wietrzenia skał karbońskich (nie tylko piritu ale także minerałów ilastych). Wynika to z faktu, że w nienasyconej strefie powyżej zrobów zachodzą procesy fizyko-chemiczne, charakterystyczne dla strefy aeracji. Korzystnym zjawiskiem jest również adsorpcja metali ciężkich na wodorotlenkach żelaza powodująca, że

wody kopalniane ze zlikwidowanych kopalń charakteryzując się zwykle niską zawartością metali, takich jak: cynk, nikiel, ołów czy miedź.



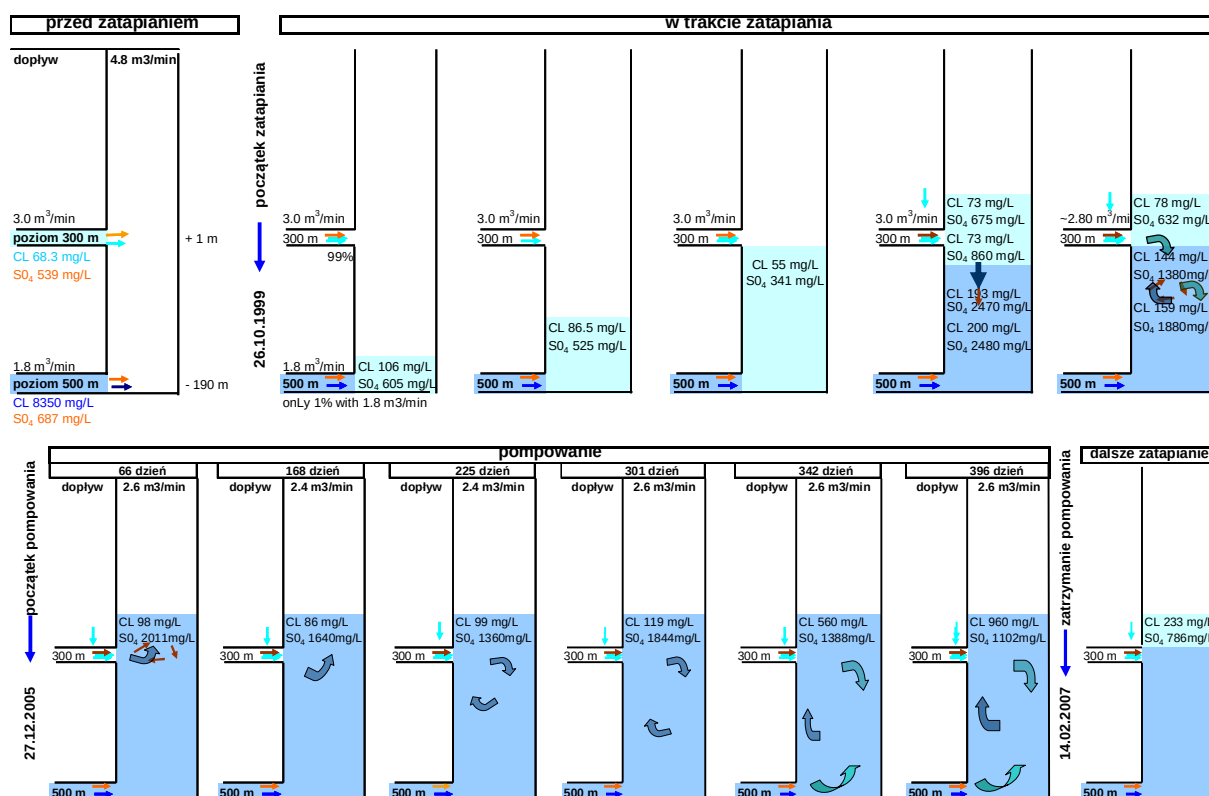
Rys. 4. Monitoring procesu zatapiania kopalni Grodziec

Zmiany zawartości chlorków i siarczanów w wodach kopalnianych podczas zatapiania kopalni Grodziec przedstawiono schematycznie na diagramie (rys. 5).

Przed zamknięciem kopalni:

- na poziom 300 m dopływało około 3 m³/min wód kopalnianych o zawartości 70 mg/l jonów chlorkowych i około 540 mg/l jonów siarczanowych,
- na poziom 500 m dopływało około 1.8 m³/min wód kopalnianych o zawartości ponad 8000 mg/l jonów chlorkowych i około 690 mg/l jonów siarczanowych.

Po zatopieniu poziomu 500 m, do szybu zaczęły dopływać słodkie wody, podobne do wód dopływających do poziomu 300 m. Przez następne 4 lata, aż do zatopienia poziomu 300 m, do szybu dopływały tylko wody słodkie. Dopływające wody kopalniane zawierały poniżej 100 mg/l chlorków i od 340 do 600 mg/l siarczanów. W trakcie zatapiania kopalni zawartość chlorków i siarczanów w wodach kopalnianych ciągle się obniżała. Przed zatopieniem poziomu 300 m wody kopalniane zawierały tylko 55 mg/l chlorków i około 340 mg/l siarczanów.



Rys. 5. Schemat ilustrujący zmiany zawartości jonów Cl i SO₄ w wodach kopalnianych podczas zatapiania kopalni Grodziec

Duże zmiany nastąpiły dopiero po zatopieniu poziomu 300 m, kiedy to do szybu zaczęły dopływać wody z zatopionych zrobów poziomu 300 m, o dużej zawartości siarczanów. Przeprowadzone wówczas opróbowanie głębokościowe (w dniu 2.12 2004 r. - tabela 2, rys. 4) wykazało, że woda w środkowej części kolumny wodnej zawierała około 2500 mg/l jonów SO₄²⁻ i około 200 mg/l jonów Cl⁻, podczas gdy woda dopływająca do górnej części szybu zawierała tylko 75 mg/l chlorków i około 700 mg/l siarczanów. Później w wyniku mieszania wód, zawartość siarczanów w wodzie w środkowej części szybu obniżyła się poniżej 2000 mg/l (opróbowanie głębokościowe z dnia 1.06.2005 r.).

Podobnej jakości była woda odprowadzana z szybu w pierwszej fazie pompowania (zawartość chlorków wynosiła około 75 mg/l i siarczanów około 2000 mg/l. Po roku ciągłego pompowania zawartość siarczanów obniżyła się do 1100 mg/l, a zawartość chlorków wzrosła prawie do 1000 mg/l. Spadek zawartości siarczanów związany był z rozcieńczaniem wód pochodzących z odwadniania zrobów wodami słodkimi z zasilania infiltracyjnego, natomiast pojawienie się dużej jonów chlorkowych to efekt dopływu wód zasolonych z poziomu 500 m. Oznacza to, że dopiero po ponad rocznym pompowaniu do szybu zaczęły dopływać wody z poziomu 500 m.

Po zatrzymaniu pompowania w szybie ponownie zaczęła rozwijać się stratyfikacja hydrogeochemiczna, w wyniku której następowało wysłodzenie wód w górnej części kolumny wodnej - zawartość chlorków obniżyła się do 233 mg/l a siarczanów do 786 mg/l

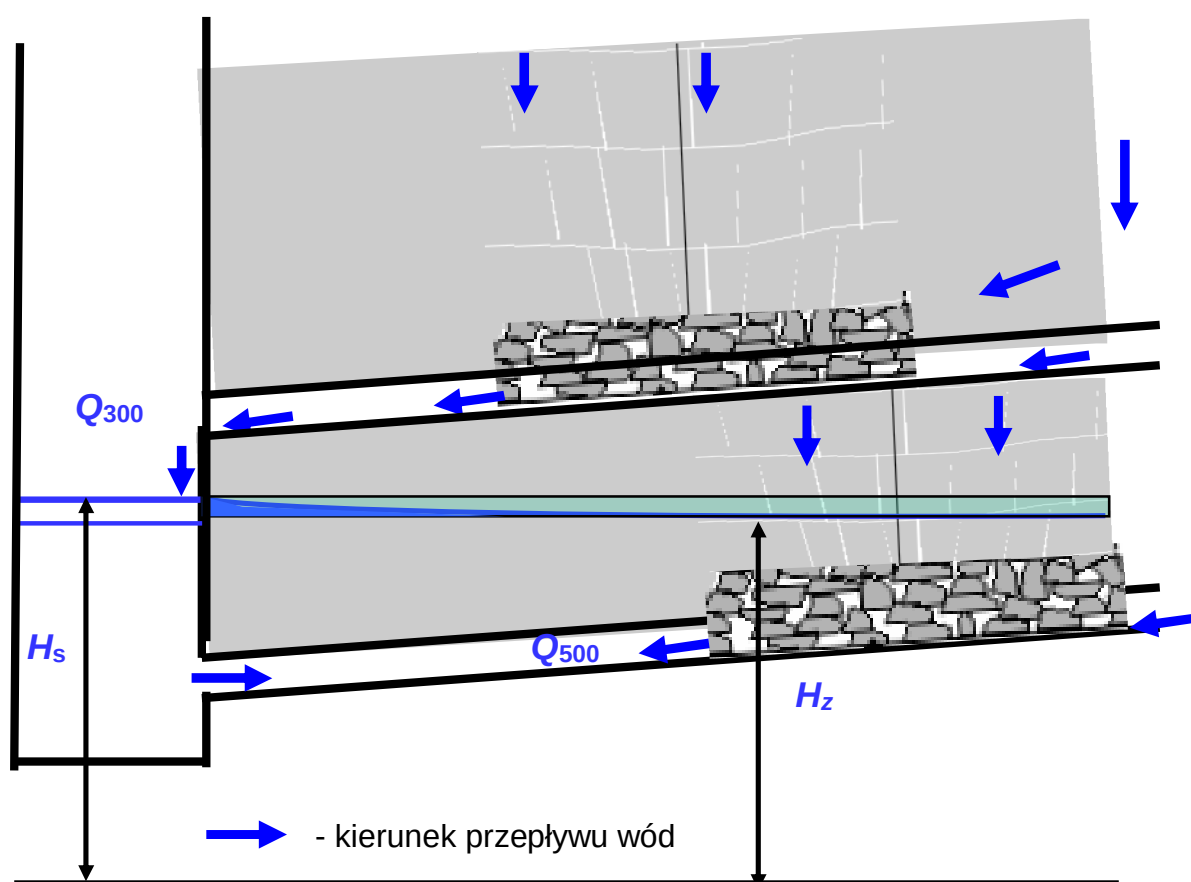
Kształtowanie się składu chemicznego wody w szybie II kopalni Grodziec wyjaśnia w znacznej mierze schemat dopływu wody do kopalni przedstawiony na rys. 6.

Jeśli dopływ wody z górnego poziomu (Q_{300}) jest wyższy niż z poziomu dolnego (Q_{500}), krzywa depresji wody w zatapianej kopalni wskutek istnienia pewnych oporów przepływu ma kształt odwróconego stożka ściętego, co oznacza, że ciśnienie wody w szybie i wyrobiskach przyszybowych (H_s) jest wyższe niż w zrobach (H_z). Zjawisko to potwierdzają doświadczenia uzyskane z próbnych pompowań wielu szybów; na początku pompowania obniżenie zwierciadła wody jest zwykle dużo większe niż by to wynikało z objętości pustych przestrzeni spompowanie wody z górnej części stożka.

W trakcie 6-letniego okresu zatapiania kopalni Grodziec, wskutek wytworzenia się spadku hydraulicznego skierowanego do zrobów poziomu 500 m, woda z tego poziomu do szybu nie dopływała i skład chemiczny wody w szybie kształtowany był przez cały ten okres tylko dopływem z poziomu 300 m. Przed zatopieniem poziomu 300 m, dopływ do szybu II następował głównie spągami wyrobisk korytarzowych poziomu 300 m. Zroby tego poziomu miały wówczas znikomy wpływ na kształtowanie się składu chemicznego wód. W wyniku dopływu słodkich wód infiltrujących z powierzchni oraz z poziomów wodonośnych w nadkładzie, następowało ciągłe wysładzanie wód - zawartość siarczanów obniżyła się z 600 do nieco ponad 300 mg/l, a chlorków z 70 do 55 mg/l.

Dopiero po zatopieniu poziomu 300 m, stare zroby na tym poziomie zostały zatopione i dlatego właśnie nastąpił wzrost zawartości siarczanów (do 2500 mg/l).

Dopiero po roku ciągłego pompowania, do szybu dopłynęła woda z poziomu 500 m; świadczy o tym pojawienie się wód o wyraźnie podwyższonym stężeniu chlorków - około 1000 mg/l. Można zatem uznać że dopiero wówczas nastąpiła odbudowa ciśnień w górotworze i wystąpił spadek hydrauliczny w kierunku szybu.



Rys. 6. Schemat wyjaśniający kształtowanie się składu chemicznego wody w szybie II kopalni Grodziec

Wnioski z wynikające z zatapiania kopalni Grodziec są niejednokrotnie inne niż w przypadku z kopalni Frances w Szkocji. Stratyfikacja w kopalni Grodziec rozwija się w obrębie wyrobisk górniczych, a nie była w zasadzie obserwowana w samym szybie. Dopiero po zatopieniu poziomu 300 m do szybu II kopalni Grodziec dopłynęły wody o podwyższonym stężeniu siarczanów, a po roku pompowania woda z poziomu 500 m (z dużą zawartością chlorków). Wynika stąd, że w skomplikowanej strukturze wyrobisk jaką jest kopalnia węgla kamiennego, każda zatapiana część zrobów zawiera wody o różnym składzie chemicznym, natomiast skład chemiczny wód w szybie jest kształtowany przez dominujący dopływ (Frolik 2006, Frolik, Kubica, Świstak 2006).

4. Podsumowanie

Wnioski wynikające z wyników obserwacji w kopalni Frances w Szkocji oraz kopalni Grodziec nie zawsze są tożsame. Inny jest bowiem charakter skał karbońskich i inne procesy geochemiczne decydują o charakterze wód kopalnianych. Generalnie skały karbońskie w Anglii i Szkocji są bardziej odporne na wietrzenie (sfałdowane w okresie warwscyjskim) niż skały karbońskie w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (sfałdowane w okresie fałdowań alpejskich).

Hydrochemiczny wskaźnik wymiany kationów w przypadku kopalni Grodziec jest dużo mniejszy od 0, co oznacza, że o charakterze wód decydują tu reakcje wymiany kationów zachodzące w strefie aeracji nad wyrobiskami górniczymi. W przypadku kopalni Frances wody kopalniane od samego początku charakteryzowały się wysokimi wartościami wskaźnika wymiany kationów $r > 0,35$, co wskazuje na wysoki stopień zmineralizowania wód i mały udział wód infiltrujących z powierzchni. Głównym procesem formującym skład chemiczny wód kopalnianych w tym przypadku były głównie procesy utleniania minerałów siarczkowych, prowadzące do zmniejszenia wartości pH, wzrostu zawartości jonów SO_4^{2-} oraz metali, w tym głównie żelaza, manganu i glinu.

Wody polskich kopalń zawierają dużo alkaliów (sód + potas), co jest wynikiem wietrzenia krzemianów i glinokrzemianów; poszczególne rodzaje skał karbońskich zawierają znaczne zawartości minerałów ilastych (głównie iłowce, ale również piaskowce, ponieważ mają do 25 % spoiwa ilastego). Obecność alkaliów w wodach kopalnianych powoduje buforowanie kwaśnych roztworów powstających w wyniku wietrzenia siarczków. I dlatego wody kopalniane zatapianych kopalń węglowych w Polsce zwykle nie mają kwaśnego charakteru. Stąd też nie wszystkie wnioski zawarte w publikacji Natuall, Younger, a dotyczące rozwoju stratyfikacji hydrogeochemicznej w zatapianych wyrobiskach kopalni Frances można odnosić do kopalni Grodziec:

- Według Natuall, Younger 2004 nagłe zmiany składu chemicznego wody w kopalni Frances w trakcie pompowania następowały wskutek mieszania wód, autorzy uważali, że początkowo nastąpiło spompowanie wody z górnej części kolumny wodnej, a później pompowano bardziej zanieczyszczoną wodę pochodzącą z podstawowej kolumny stratyfikacyjnej szybu z jego głębszej części oraz wodę z dopływu bocznego dopływającą z sąsiedniej kopalni. Natuall, Younger 2004 uznali, że wody badane podczas testu w kopalni Frances były wynikiem mieszania w różnych proporcji obu tych wód. Uznając, że chlorki zachowują się bardziej konserwatywnie niż żelazo

w obliczeniach bilansowych wzięli pod uwagę zawartość żelaza jako najbardziej miarodajne; obliczenia wykazały, że koncentracja żelaza może wynosić od 3,4 do 766 mg/l. W świetle doświadczeń autora ten proces mógł przebiegać nieco inaczej, bowiem równie dobrze woda mogła pochodzić z odsłoniętego wyrobiska bocznego w górnej części szybu – jakość tej wody nie była znana. Według mojej oceny to właśnie chlorki są dobrym odzwierciedleniem składu chemicznego wód zmieszanych, zasilających system, natomiast zawartość żelaza czy innych metali jest odzwierciedleniem skomplikowanych procesów geochemicznych zachodzących podczas przepływu wody w strefie aeracji i nasycenia. Według autora w przypadku polskich kopalń dla oceny procesów hydrogeochemicznych zachodzących w wodach zatapianych kopalń, bardziej właściwe jest posługiwanie się zawartością siarczanów i chlorków, a z metali manganu, który ulega wytrącaniu przy znacznie wyższym *pH* niż żelazo.

- Mając na uwadze, że nie znana jest objętość wody dobrej jakości w przyległych wyrobiskach warunek rozpoznania wystąpienia stratyfikacji wg Natuall, Younger 2004: $t_{min} = \text{wydajność pompowania} / \text{objętość wody w szybie}$ jest nie wystarczający. To, że w przypadku kopalni Frances tak się stało może być zwykłym zbiegiem okoliczności po prostu te 2500 m³ wody, którą odpompowano w ciągu pierwszych 16 godzin pompowania to objętość wód nieco bardziej wysłodzonych wypełniających wyrobiska przyległe do szybu w jego górnej części. W przypadku kopalni Grodziec dopływ wód zasolonych z głębszego poziomu 500 m dało się zauważyć dopiero po roku pompowania).
- Skład chemiczny wód w zatopionym wyrobisku górniczym (szybie) jest kształtowany przez dopływy z kolejnych zatapianych poziomów. Póki woda dopływa spągami wyrobiska jej jakość jest dobra, dopiero gdy to wyrobisko zostanie zatopione i jednocześnie zatopiona zostanie duża partia starych zrobów z tym wyrobiskiem połączonych, następuje dopływ wód gorszej jakości. Takie pogorszenie jakości wody miało miejsce w kopalni Grodziec po zatopieniu poziomu 300 m, to jest poziomu z którego następował główny dopływ do kopalni.
- Dopływ wody w wyrobiskach jest zawsze turbulentny – z tym, że zwykle odbywa się spągami wyrobiska a po jego zatopieniu całym przekrojem, tak więc to nie charakter ruchu decyduje o składzie chemicznym wód w zatopionym szybie.

Literatura:

1. Caimey, T., Frost, R.C.. 1975. A case study of mine water quality deterioration, Mainsforth Colliery, County
2. Domenico P.A, Schwartz F.W.: Physical and Chemical Hydrogeology. Second Edition. Wiley. New York 1998.
3. Frolik A., Kubica J. Świstak M. - Wpływ zaprzestania odwadniania Ruchu II ZG Janina na wody podziemne (*The impact of pumping stoppage in Ruch II – part of Janina coal mine mine – on the groundwater*) Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie – 8(144)/2006r.
4. Frolik A. Aktualizacja prognozy zatapiania kopalni „Siersza” (*Adjustment of flooding forecast for Siersza coal mine*) Wiadomości Górnicze - 11/2006r.
5. Johnson, K.L., Younger. P.L.. 2002. *Hydrogeological and geochemical consequences of the abandonment of Frazer's Grove carbonate hosted Pb/Zn fluorospar mine*. North Pennines, UK. In: Younger, P.L., Robins, N.S. (Eds.), *Mine Water Hydrogeology and Geochemistry*. Geological Society, London, pp. 347-364. Special Publication.

6. Ladwig, K.J., Erickson, P.M., Kleinmann, R.L.P., Posluszny, E.T., 1984. *Stratification in water quality in inundated anthracite mines, eastern Pennsylvania*. US Bureau of Mines Report of Investigations RI-8837. 35 pp
7. Natuall C.A., Younger P.L. - *Hydrochemical stratification in flooded underground mines: an overlooked pitfall*. Journal of Contaminant Hydrology 69 (2004) 101-114.
8. Younger, P.L., La Pierre, A.B., 2000. '*Uisge Meinne*': mine water hydrogeology in the Celtic lands, from Kernow (Cornwall, UK) to Ceap Breattain (Cape Breton, Canada). In: Robins, N.S., Misstear, B.D.R. (Eds.), Groundwater in the Celtic Regions: Studies in Hard Rock and Quaternary Hydrogeology, vol. 182. Geological Society, London, pp. 35-52. Special Publication.