

Piotr SIWEK, Andrzej RÓŻKOWSKI  
*Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi*  
41-200 Sosnowiec, ul. Będzińska 60

## SKŁAD CHEMICZNY WÓD W UTWORACH KARBONU GÓRNOŚLĄSKIEGO W ŚWIETLE OBLICZEŃ STATYSTYCZNYCH

**Streszczenie.** W artykule scharakteryzowano skład chemiczny wód w utworach karbonu górnośląskiego na podstawie wyników przeprowadzonych obliczeń statystycznych. Obliczeniami objęto 2382 analiz chemicznych wód kopalnianych, podrzędnie opróbowanych z otworów wiertniczych. Wyniki analizy statystycznej potwierdziły i liczbowo udokumentowały trend wzrostu mineralizacji oraz zmiany składu jonowego wód z głębokością charakterystyczne dla basenów sedymentacyjnych.

## GROUNDWATER CHEMISTRY OF THE UPPER CARBONIFEROUS FORMATION OF THE UPPER SILESIA COAL BASIN IN THE LIGHT OF STATISTIC DATA

**Summary.** Groundwater chemistry of the Upper Carboniferous of the Upper Silesia Coal Basin is presented in the paper on the base of statistic calculations. 2382 results of mine water chemical analyses were taken into account. Some of waters were sampled from boreholes. Results of statistical analysis confirmed and numerically documented tendency of mineralization growth and changes of water ionic composition with growing depth of water sampling, characteristic for sedimentation basins.

### 1. Wstęp

Karbońskie piętro wodonośne karbonu produktywnego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) posiada sumaryczną miąższość osadów ok. 8500 m. Jest ono reprezentowane przez cztery kompleksy wodonośne skał iłowcowo-mułowcowo-piaskowcowych z pokładami węgla o zróżnicowanych przepuszczalnościach. Są to kompleksy wodonośne: krakowskiej serii piaskowcowej (K.SP), serii mułowcowej (SM), górnośląskiej serii piaskowcowej (GSP), serii paralicznej (SP).

W profilu hydrogeologicznym piętra wodonośnego karbonu obserwuje się występowanie pionowej strefowości hydrochemicznej. Wspomniana strefowość charakteryzuje się wzrostem mineralizacji i zmianami składu chemicznego wód z głębokością. Skład anionowy wód ulega zmianom zgodnie z sekwencją:  $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl}$ .

Obserwuje się obszarowe zmienności w kształtowaniu się strefowości hydrochemicznej, co ma związek ze zróżnicowaną budową geologiczną zagłębia i aktywnością oddziaływania górnictwa.

Skład chemiczny wód piętra wodonośnego karbonu analizowano w ramach Projektu Badawczego Komitetu Badań Naukowych (KBN). Praca realizowana była w Katedrze

Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WNoZ Uniwersytetu Śląskiego w Sosnowcu [1], przy uwzględnieniu wszystkich ważniejszych wyników badań hydrogeochemicznych karbonu GZW. W niniejszym artykule przedstawiono w ogólnym zarysie wybrane wyniki tej interpretacji.

## 2. Zakres badań, obliczenia statystyczne i forma ich przedstawienia

Obliczeniom statystycznym poddano zbiór 2382 analiz chemicznych wód opróbowanych w wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego i w otworach wiertniczych, w interwale głębokości od ok. 100 m do ok. 2400 m. Analizy chemiczne wód zostały wykonane w różnych laboratoriach, głównie na przestrzeni lat 1980-1999. Zakresy oznaczeń zawartych w analizach odpowiadają w przewadze analizom skróconym i ogólnym. Wyniki interpretacji zmienności mineralizacji i składu jonowego wód podziemnych GZW zostały przedstawione w postaci tabel, przy czym każda z tabel zawiera charakterystykę statystyczną określonego elementu hydrochemicznego. Podano w nich liczebność zbiorów oraz wartości: średnią, medianę, średnią geometryczną, minimalną i maksymalną, zakres zmienności oraz wariancję, odchylenie i błąd standardowy dla całej populacji stężeń charakteryzowanego składnika chemicznego, odniesioną do 200-metrowych odcinków głębokości, na jakie podzielono opróbowane interwały karbonu oraz wybranych przedziałów mineralizacji (tab. 1).

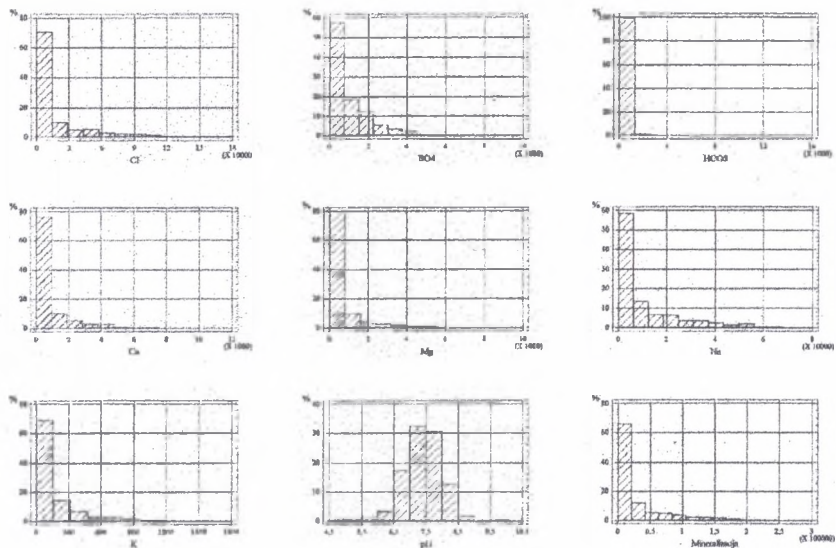
W niniejszym artykule analizowano skład chemiczny wód podziemnych łącznie dla całego profilu hydrogeologicznego piętra wodonośnego karbonu górnego oraz w przedziałach głębokościowych: 0-200 m, 200-400 m, 400-600 m, 600-800 m, 800-1000 m i powyżej 1000 m. Próbkę wód pobrane do analiz pochodzą z głębokości od kilku do ok. 980 m w KSP, 960 m w SM, 1780 m w GSP i 1160 m w SP. Obliczenia zilustrowano histogramami rozkładu stężeń (rys. 1).

Zmiany mineralizacji i składu jonowego z głębokością wód podziemnych w utworach karbonu produktywnego zostały przeanalizowane statystycznie. Do opisu matematycznego powyższych zależności, wykorzystano regresję prostą. Obliczenia obejmują charakterystykę zmian mineralizacji ogólnej i koncentracji siedmiu podstawowych jonów z głębokością dla całej populacji próbek. Dla każdego elementu dobierano funkcję, której współczynnik

Tabela 1

Estymatory punktowe zbioru wartości mineralizacji w wodach piętra wodonośnego karbonu górnego

Estymatory punktowe zbioru stężeń	Liczebność	Średnia arytmetyczna	Mediana	Średnia geometryczna	Wariancja	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Minimum	Maksimum	Przedział zmienności	
Wartości dla całego zbioru	2382	28173,3	5743,0	6962,65	1905630000,0	43653,5	894,434	130,00	251814,00	251684,00	
Wartości dla przedziałów mineralizacji [g/l]	pon. 1	362	583,16	565,0	526,89	57576,2	239,95	12,6115	130,00	1000,00	870,00
	1 - 3	632	1770,41	1675,0	1686,52	310986,0	557,66	22,1826	1002,00	3000,00	1998,00
	3 - 10	366	6737,71	5503,0	5394,11	4036510,0	2009,11	105,0180	3019,00	9986,00	6967,00
	10 - 35	415	21481,00	21270,0	20246,80	51132300,0	7150,69	351,0130	10176,00	35000,00	24824,00
	35 - 70	247	49905,60	48612,0	48832,40	108251000,0	10404,40	662,0140	35018,00	69639,00	34621,00
pow. 70	359	118067,00	106050,0	112210,00	153878000,0	39227,20	2070,3300	70138,00	251814,00	181676,00	
Wartości dla przedziałów głębokości [m]	0 - 200	245	2177,81	730,0	892,37	24976700,0	4967,67	319,2900	130,00	45890,00	45890,00
	200 - 400	787	6634,12	1792,0	2403,04	205472000,0	14334,30	510,9630	218,00	217680,00	217462,00
	400 - 800	854	27214,20	9576,5	10707,90	1265490000,0	35573,80	1391,0400	330,00	171486,00	171158,00
	600 - 800	419	61806,80	37584,8	37584,80	2834170000,0	53236,90	2600,7900	893,00	251814,00	250921,00
	800 - 1000	136	82408,70	65972,0	60333,40	3596010000,0	59966,80	5142,1100	7536,00	218608,00	211073,00
pow. 1000	16	134499,00	129973,0	107628,00	5114500000,0	71515,70	17878,9000	19209,00	226042,00	206833,00	



Rys. 1. Histogramy rozkładu stężeń podstawowych elementów hydrogeochemicznych w wodach piętra wodonośnego karbonu górnego

Fig. 1. Histograms of distribution of hydrogeochemical main elements in groundwaters of Upper Carboniferous formation

korelacji był najbliższy jedności. Związki mineralizacji (M) lub stężenia jonów (C) z głębokością (H) najczęściej aproksymowano funkcjami regresji w postaci:

$-H = a + b\sqrt{Ca^{2+}}$  dla stężeń wapnia oraz:  $-H = a + \ln(C)$  dla stężeń Cl, K, Mg, Na lub:  $-H = a + \ln(M)$  w przypadku mineralizacji; gdzie a i b są współczynnikami równania. Wykazują one różny stopień korelacji wartości mineralizacji lub stężenia jonów w wodach z głębokością. Uwzględniano generalnie te dopasowania, w których obliczone współczynniki korelacji przyjmują wartości z przedziału  $R^2 \geq 50\%$ . Obliczone korelacje są ogólnie niskie.

### 3. Właściwości i składniki chemiczne wód podziemnych

Mineralizacja wód podziemnych w utworach karbonu w interpretowanym zbiorze kształtuje się w przedziale od 0,13 do 251,8 g/dm<sup>3</sup> (tab. 1).

W obrębie poszczególnych serii przeciętne wartości mineralizacji dla głębokich poziomów są zróżnicowane od powyżej 73,83 g/dm<sup>3</sup> (SP) do powyżej 123,7 g/dm<sup>3</sup> (KSP). Zatem mineralizacja wód w obrębie głębokich poziomów karbonu produktywnego GZW należy do wysokich. W rejonie trzeciorzędowego złoża soli w rejonie Zawady zarejestrowano punktowo anomalnie wysoką mineralizację wód wynoszącą 372 g/dm<sup>3</sup>.

Odczyn wód, określony na podstawie 1726 danych, waha się w granicach od 4,61 do 9,9, przy wartości średniej 7,47 i medianie 7,5. Zaobserwowano słabo widoczny trend do obniżania się pH wraz z głębokością, czego wyrazem są malejące wartości miar położenia. Odczyn jako jedyny z analizowanych wskaźników charakteryzował się rozkładem zbliżonym do normalnego.

Jak wynika z interpretowanych danych, twardości opisywanych wód przyjmują wartości od miękkich do bardzo twardych, przy czym dominują wody o wysokich twardościach dochodzących do 887 mwał/dm<sup>3</sup>. Twardość wód określa głównie ich twardość niewęglanowa.



Stężenia  $\text{Ca}^{2+}$  charakteryzowanych wód wynoszą od 3,2 do 10900,00  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Odnotowane stężenia minimalne  $\text{Mg}^{2+}$  kształtują się na poziomie 0,97  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , natomiast najwyższa wartość – na poziomie 9302,40  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Zawartość magnezu rośnie wraz z głębokością, o czym świadczą rosnące wartości średnich w przedziałach głębokościowych.

W niektórych analizach sód i potas określono łącznie jako alkalia, w niektórych oznaczono oddzielnie  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ . Do przeliczeń statystycznych wykorzystano tylko tę drugą formę. Stężenia  $\text{Na}^+$  zajmowały szeroki przedział od 0,23 do 67820,50  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , stężenia  $\text{K}^+$  – znacznie węższy: od 0,12 do 1660,0  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Stężenia  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (oznaczonych łącznie jako alkalia) występowały w przedziale od 0,36 do 64460,49  $\text{mg}/\text{dm}^3$ .

Stężenia głównych anionów mieszczą się w granicach:  $\text{Cl}^-$  od 1,77 do 171612,00  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  od 0,16 do 8542,4  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{HCO}_3^-$  od 2,90 do 14916,20  $\text{mg}/\text{dm}^3$ .

Spośród analizowanych składników podrzędnych dysponowano 125 oznaczeniami żelaza, którego maksymalna zawartość wynosiła ok. 70  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , zwykle jednak nie przekraczając 38  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . 717 analiz zawierało oznaczenia azotanów na poziomie 0,01 do 70  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ; odnotowano także dwie wartości anomalne 400 i 755,94  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Azotyny występowały w 537 analizach, z reguły w przedziale od 0,01 do 70,5  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , przy czym stwierdzono również jedną wartość anomalną wynoszącą 274,7  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . Stężenia amoniaku nie przekraczały 38  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , choć w jednej z analiz podano także 77,3  $\text{mg}/\text{dm}^3$ .

Charakter chemiczny opisywanych wód określony wzorem Kurlowa przedstawia się następująco:

$$M^{0,013-251,8} \frac{\text{Cl}^{0,69-100} \text{SO}_4^{0,01-98,16} \text{HCO}_3^{0,05-96,43}}{\text{Na}^{0,43-100} \left[ (\text{Na} + \text{K})^{0,05-98,53} \right] \text{Mg}^{0,18-99} \text{Ca}^{0,04-98,53} \text{K}^{0,01-42,67}}$$

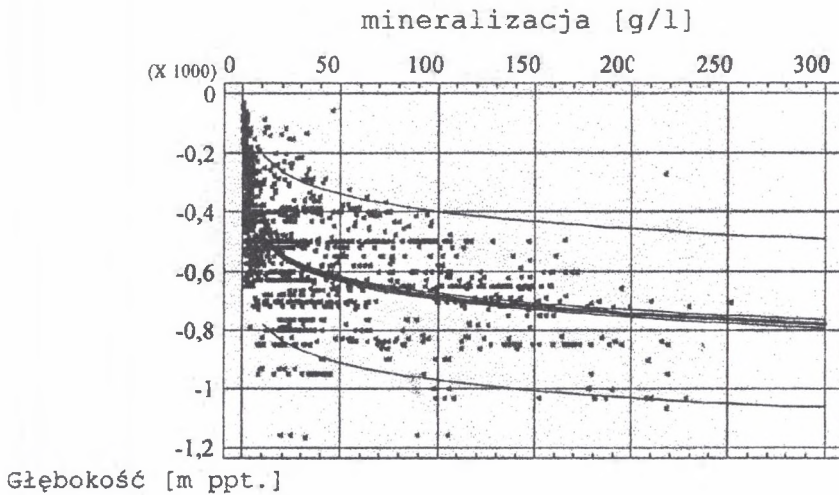
Wody podziemne piętra wodonośnego karbonu górnego reprezentują 32 klasy wód wg klasyfikacji Szczukariewa-Prikłonskiego. Dominują klasy wielojonowe wód.

Wody głębokich poziomów karbonu produktywnego GZW (umownie przyjętych dla głębokości >600 m ppt) są wodami typu Cl-Na, Cl-Na-Ca oraz Cl-Na-Mg. Jednakże w strefach długotrwałego oddziaływania głębokich kopalń węgla kamiennego, również w tym interwale głębokości mogą występować wody typów wielojonowych.

Obserwowany wzrost mineralizacji wód z głębokością, określony dla piętra wodonośnego karbonu górnego na obszarze całego zagłębia (rys. 2), charakteryzuje się niskim współczynnikiem korelacji  $R^2 = 53,2\%$ . Należy to tłumaczyć faktem dużej zmienności w przebiegu tej zależności w obrębie GZW. Ogólne równanie funkcyjne w tym przypadku ma postać:

$$-H = -295,6 - 84,5887 \ln(M).$$

Wody podziemne GZW wykazują ogólną prawidłowość wzrostu ich mineralizacji z głębokością niezależnie od wieku utworów, w których występują. Prawidłowość ta jest zaburzona zjawiskami anomalii lub nawet inwersji hydrochemicznej. Innym ważnym czynnikiem jest tu niehomogeniczność zbioru danych, w którym mimo wcześniejszej selekcji, mogą pojawić się analizy wód zbiorczych, nie w pełni reprezentatywnych dla naturalnych wód karbonu górnego.



Rys. 2. Zmienność wartości mineralizacji z głębokością w wodach piętra wodonośnego karbonu górnego

Fig. 2. Variability of mineralization with depth in groundwaters of Upper Carboniferous formation

Tabela 2  
Mikroskładniki w wodach podziemnych piętra wodonośnego karbonu górnego

Mikroskładniki	Ilość oznaczeń	Minimum	Maksimum	Średnia	Mediana
Mn	750	0,01	17,30	1,05	0,45
Li	137	0,65	40,08	7,98	4,65
Ba	116	2,00	1270,00	359,53	258,20
Br	824	0,19	800,00	85,39	62,98
J	791	0,05	88,84	10,44	8,00
F	99	0,01	10,12	1,75	0,95
Sr	7	2,7	123,00	47,78	23,27
Ni	21	0,02	0,40	0,17	0,15
Cu	46	0,03	25,00	2,16	0,38
Zn	34	0,02	50,00	2,40	0,10

Przyrosty mineralizacji z głębokością w odniesieniu do poszczególnych serii litostratygraficznych karbonu wykazują większy (w granicach 58 – 61%) stopień korelacji niż w przypadku całego zbioru analiz. Jedynym wyjątkiem jest SP, gdzie  $R^2 = 43,9\%$ .

Charakterystykę mikroskładników występujących w wodach karbonu produktywnego oparto na danych uzyskanych ze zbioru 1001 oznaczeń elementów hydrochemicznych. Analizowane wody opróbowane zostały w interwale głębokości od 100 m do 900 m. Rozważaniami objęto mikroskładniki: Mn, Li, Ba, Sr, Ni, Cu, Zn, Br, J, B, i F (tab. 2).

Przedstawiona charakterystyka hydrochemiczna piętra wodonośnego karbonu górnośląskiego dotyczy środowiska hydrogeologicznego w znacznej mierze przekształconego

antropogenicznie, położonego w ramach największej w Polsce aglomeracji miejsko-przemysłowej.

#### LITERATURA

1. Rózkowski A.: Chemizm wód w utworach karbonu górnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Grant Komitetu Badań Naukowych (KBN) nr 9T12BO1218. Archiwum KHiGI – UŚ Sosnowiec 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. Aleksandra Macioszczyk

#### Abstract

2382 results of groundwater chemical analyses from Upper Carboniferous formation were analysed statistically. Waters were sampled in mine workings of hard coal mines, subordinately in boreholes, within depth interval from 100 m till about 2400 m. Changes of mineralization and ionic composition versus depth were analysed statistically. Calculations shown that value of water pH ranges from 4.6 to 9.4 (when mean is 7.5) with slight tendency of lowering with depth. Hardness of waters, mainly non-carbonate, reaches 887 mval/dm<sup>3</sup>. Non-carbonate hardness grows with water mineralization. Water mineralization grows with depth in limits from 0.13 to 251.8 g/dm<sup>3</sup>. Waters from Carboniferous formation represent 32 hydrochemical classes according to Szczukariew-Prikoński classification. Waters of infiltration zone and upper part of mixed waters zone are multi-ion waters. Waters of deeper zones are of Cl-Na and Cl-Na-Ca hydrochemical types. Statistic analysis confirms existence of vertical, differentiated hydrochemical zonation within hydrogeological profile of Carboniferous strata. Formation of hydrochemical zones depends on differentiation of geological structure and activity of mining.