

Paweł Suchy¹, Dominika Dąbrowska², Rafał Kucharski³

¹ *Uzdrowisko Goczałkowice-Zdrój Spółka z o.o., ul. Uzdrowska 54, 43-230 Goczałkowice-Zdrój; e-mail: psuchy@gozdroy.pl*

² *Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; e-mail: ddabrowska@us.edu.pl*

³ *Uniwersytet Ekonomiczny, Wydział Zarządzania, ul. Bogucicka 14, 40-226 Katowice; e-mail: rafal.kucharski@ue.katowice.pl*

METODY STATYSTYCZNE W OCENIE ZMIAN ZAWARTOŚCI BROMKÓW W SOLANKACH UZDROWISKA GOCZAŁKOWICE-ZDRÓJ

Сухы П., Домбровска Д., Кухарски Р. **Статистические методы оценки изменений концентрации бромидов в рассолах курорта Гочалковице-Здруй.** Представлена оценка трендов изменений содержания бромидов в рассолах Курорта Гочалковице-Здруй за период 1977–2014 по данным эксплуатационных скважин GN-1 и GN-2. Оценка трендов проведена с использованием статистических методов: линейного тренда, модели с фиксированными эффектами и статистически робастного. Дан также прогноз изменений концентрации содержания бромидов на период 2015–2016 гг.

Suchy P., Dąbrowska D., Kucharski R. **Statistical methods in the assessment of the bromide concentration changes in brines of Goczałkowice-Zdrój health resort.** Trends in the groundwater quality can be assessed with statistical methods such as the linear model, the fixed effect model and the robust statistic. The paper shows the assessment of trend on the example of bromides in the region of Goczałkowice-Zdrój health resort. Analyses were based on the data from the years 1977–2014 from two boreholes: GN-1, GN-2. Results indicate a decrease trend of bromides concentration.

Słowa kluczowe: solanki, regresja liniowa, Goczałkowice-Zdrój

Ключевые слова: рассолы, линейная регрессия, Гочалковице-Здруй

Key words: brines, linear regression, Goczałkowice-Zdrój

Zarys treści

Zaprezentowano ocenę trendów zmian zawartości bromków w solankach Uzdrowiska Goczałkowice-Zdrój na podstawie danych z lat 1977–2014 z otworów eksploatacyjnych GN-1 i GN-2. Oceny trendów dokonano na podstawie trzech metod statystycznych: trendu liniowego, modelu efektów stałych oraz modelu odpornościowego. Przedstawiono też prognozę zmian zawartości bromków na lata 2015–2016.

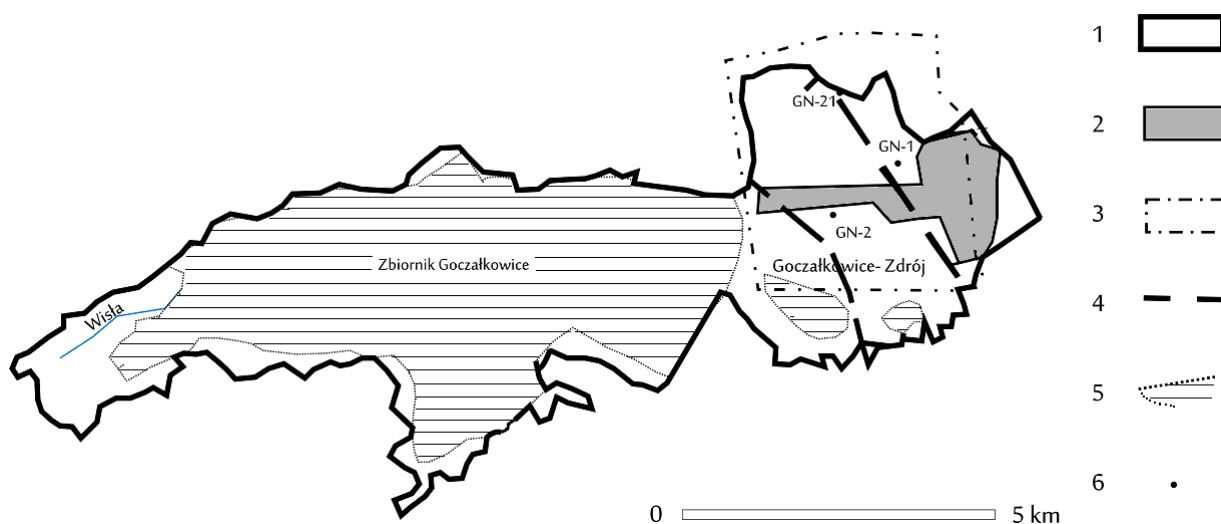
OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań pokrywa się z obszarem górniczym „Goczałkowice-Zdrój I”, który wchodzi w skład gminy Goczałkowice Zdrój. Gmina ta jest położona w Dolinie Górnej Wisły, w południowo-wschodniej części Kotliny Oświęcimskiej (KONDRACKI, 2000). W obrębie gminy znajduje się zbiornik zaporowy Goczałkowice (rys. 1).

Obszar górniczy „Goczałkowice Zdrój I” o powierzchni 13,92 km² leży w większości w granicach administracyjnych gminy Goczałkowice-Zdrój, tylko jego niewielkie fragmenty w części północnej należą do gminy Pszczyna, a w części południowej – do gminy Czechowice-Dziedzice. Granice obszaru górniczego „Goczałkowice Zdrój I” pokrywają się z granicami terenu górniczego (rys. 1).

BUDOWA GEOLOGICZNA

Pod względem geologicznym Uzdrowisko Goczałkowice-Zdrój położone jest w południowej części niecki głównej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Utwory karbońskie tworzy tu górnośląska seria piaskowcowa o miąższości od 100 do 175 m, seria mułowcowa o maksymalnej miąższości 804 m oraz krakowska seria piaskowcowa o miąższości do 500 m. Miocen (100–800 m) budują osady ilaste. Na powierzchni występują osady czwartorzędowe (10–40 m) w postaci glin, żwirów i piasków (SUCHY, 2003).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań:

1 – granica gminy, 2 – zabudowa, 3 – granica obszaru górniczego, 4 – drogi, 5 – zbiorniki, 6 – otwory wiertnicze

Рис. 1. Локализация исследуемой территории:

1 – граница гмины, 2 – застройка, 3 – граница шахтного поля, 4 – дороги, 5 – водоемы, 6 – эксплуатационные скважины

Fig. 1. Localization of the test area:

1 – community boundary, 2 – building, 3 – mining area, 4 – roads, 5 – water reservoirs, 6 – boreholes

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE I CHARAKTERYSTYKA SOLANEK

Na omawianym obszarze występują wody zwykle związane z osadami czwartorzędowymi oraz wody mineralne (od słabo zmineralizowanych do solanek) w utworach miocenijskich i karbońskich (PAZDRO, KOZERSKI, 1990).

Karbońskie poziomy wodonośne, odizolowane od utworów czwartorzędowych i miocenijskich, związane są z warstwami piaskowców. Wody lecznicze ujmowane dla Uzdrowiska Goczałkowice Zdrój zalegają w warstwach orzeskich karbonu górnego (SUCHY, 2003).

W Uzdrowisku Goczałkowice-Zdrój wykorzystuje się obecnie 3 otwory eksploatacyjne: Goczałkowice Nowy-1 (GN-1), Goczałkowice Nowy-2 (GN-2) oraz Goczałkowice 21 (GN-21) (rys. 1).

Od 1957 r. eksploatacja odbywa się na tym terenie w poziomach karbońskich na głębokości 458,6 m i 478,0 m p.p.t. (SOKOŁOWSKI, 1978). Zgodnie ze stanem na rok 2014, głębokość zapuszczenia pompy wynosi około 290 m w GN-1, około 200 m w GN-2 oraz około 205 m w GN-21. Eksploatowana woda (2012) jest 8,20% solanką typu Cl-Na+J+Fe.

BROMKI JAKO WAŻNY SKŁADNIK WÓD LECZNICZYCH I SOLANEK

Brom w wodach podziemnych występuje głównie w solankach i wodach chlorkowo-sodowych razem z jodem (JANKOWIAK, 1971).

Zdrowotne działanie wód jodowo-bromowych znane było już w starożytności. Wody te wykorzystuje się w kuracjach pitnych, kąpielowych, w postaci inhalacji i płukań, zwłaszcza w leczeniu chorób tarczycy czy przysadki mózgowej. Brom podczas zabiegów leczniczych zostaje łatwo sorbowany przez skórę lub błonę śluzową. Resorpcja bromu i jodu podczas kąpieli ma miejsce głównie na drodze wziewnej przez układ oddechowy. Lecznicze wody bromkowe powinny zawierać co najmniej 5 mg/l jonu bromkowego (MACIOSZCZYK, DOBRZYŃSKI, 2002). W leczniczych działaniach jonu bromkowego należy podkreślić jego katalityczny wpływ na pewne właściwości lecznicze wód chlorkowo-sodowych, w tym, zwłaszcza przy niewielkich ilościach jodu, na wykazywanie działania uspokajającego i pogłębiającego sen, jak też wywoływanie szeregu reakcji aktywizujących siły obronne ustroju. Rozluźniający efekt kąpieli wzmacnia układ immunologiczny, jak również odporność na stres.

Zawartość bromków w wodach podziemnych zmienia się od ilości śladowych do kilku gramów w 1 litrze wody. Może jednak dochodzić nawet do 6500 mg/l. Solanki Uzdrowiska Goczałkowice-Zdrój (suma substancji rozpuszczonych 85 600 mg/l) zawierają duże koncentracje bromków (ponad 200 mg/l).

METODYKA BADAŃ

Ocenie trendów zmian jakości poddano zawartość bromków w wodach podziemnych z obszaru Uzdrowiska Goczałkowice-Zdrój ujmowanych otworami

Tabela 1. Zmienność zawartości bromków w solankach z otworów GN-1, GN-2 w latach 1977–2014 (KOCZY, 2014; SUCHY, 2014)

Таблица 1. Изменения содержания бромидов в рассолах скважин GN-1, GN-2 за период 1977–2014 (KOCZY, 2014; SUCHY, 2014)

Table 1. Bromides concentration changes in brines of GN-1, GN-2 boreholes in years 1977–2014 (KOCZY, 2014; SUCHY, 2014)

Rok	Br GN-1 [mg/dm ³]	Br GN-2 [mg/dm ³]
1977	253	226,4
1977	246	219,8
1978	242	223,8
1978	231	194,5
1979	233	213,1
1979	234	213,4
1980	239	226,4
1980	246	219,8
1981	239	213,1
1981	245	220,5
1982	243	215,1
1982	236	223,1
1983	261	223,8
1983	240	213
1984	242	237,1
1984	246	219,8
1985	266	226,4
1985	246	219,8
1986	261	213
1986	233	199,8
1987	237	202,5
1987	225	199
1988	253	226
1988	253	226
1989	245	218
1990	242	216
1992	250	214,8
1994	263	210
1996	255	218,1
1998	245	202,5
2000	250	211
2002	242,4	218,5
2004	200,4	189
2006	189,4	153,7
2008	227	188
2010	209	178
2012	230	190
2014	250	190

GN-1 i GN-2. Oceny trendów dokonano za pomocą trzech metod statystycznych: model liniowy, model efektów stałych i model odpornościowy na podstawie wyników analiz chemicznych z lat 1977–2014. Zbiór danych przedstawiono w tab. 1.

Do określenia trendów zmian zawartości bromków i określenia prognozy ich zawartości w latach 2015 i 2016, zastosowano prosty model liniowy w postaci: $y = at + b + \varepsilon$, gdzie: y to obserwowany poziom bromków, t oznacza czas w latach (za chwilę $t = 0$ przyjęto II kwartał 1977 – pierwszy pomiar), ε to składnik losowy, natomiast a (nachylenie) oraz b (przecięcia z osią OX) to szacowane parametry. Szacowanie odbywa się za pomocą metody najmniejszych kwadratów: $RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - (a + bx_i))^2 \rightarrow \min$

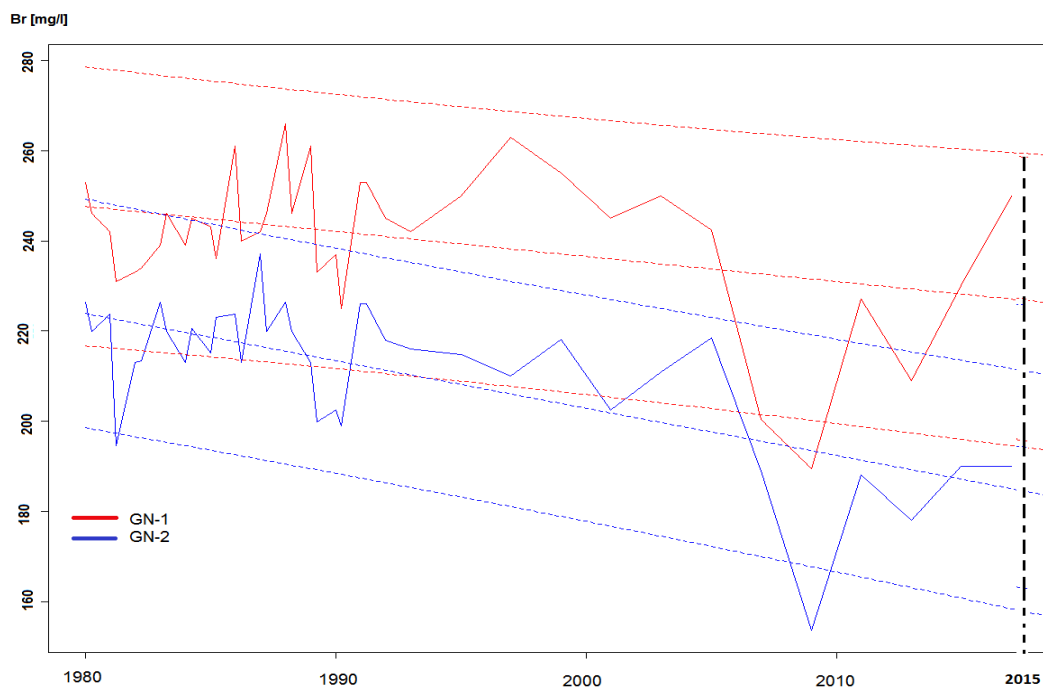
(CHRISTENSEN, 2001). Współczynnik korelacji liniowej $\rho = 0,62$ dla zmian zawartości bromków w obu otworach eksploatacyjnych świadczy o dużej zbieżności. Pozwoliło to na zastosowanie jako drugiej metody statystycznej – modelu efektów stałych. Zaletą tego modelu jest większy zbiór danych do analizy, a tym samym możliwość określenia przyczyn zmian zawartości bromków w czasie (CHRISTENSEN, 2001).

W przypadku obu powyższych metod zaobserwowano, że w rozpatrywanym zbiorze danych mamy do czynienia z 2 obserwacjami odstającymi: są to wyniki analiz chemicznych z 2004 oraz 2006 roku. Pomiarzy te zostały pominięte, po czym ponownie oszacowano parametry modelu z efektami stałymi i otrzymano model „odporny” (*robust*).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wykonane obliczenia wskazują, że niezależnie od wybranej metody, zawartość bromków w wodach podziemnych w otworach GN-1 oraz GN-2 wykazuje tendencję spadkową. Trend ten jest istotny statystycznie. Prosta regresji wyznaczona metodą liniową dla otworu GN-1 ma postać: $\hat{y} = -0,56t + 247,64$, a dla otworu GN-2: $\hat{y} = -1,05t + 223,90$. Średnie błędy szacunku współczynników liniowych wyniosły odpowiednio 0,23 oraz 0,19.

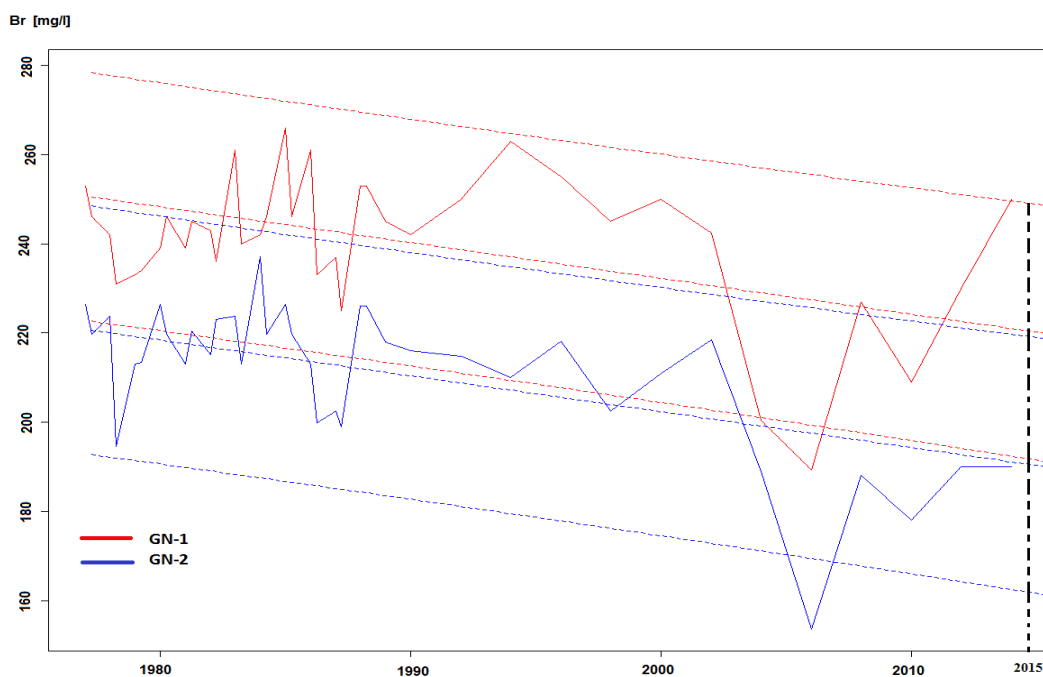
Wykonano także prognozę zawartości bromków na lata 2015 i 2016, którą podzielono na oszacowanie punktowe oraz na oszacowanie z 95% prawdopodobieństwem uzyskania wyników mieszczących się w podanych przedziałach. Zmianę zawartości bromków i dopasowaną linię trendu dla tej metody przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Zmiany zawartości bromków w solankach z otworów GN-1, GN-2 wraz z prognozą na lata 2015 i 2016 z zastosowaniem modelu indywidualnego

Рис. 2. Изменения содержания бромидов в рассолах скважин GN-1, GN-2 и прогноз на период 2015–2016 гг. с применением индивидуальной модели

Fig. 2. Changes in the bromides content in brines from GN-1 and GN-2 boreholes using individual model with a forecast for the years 2015 and 2016



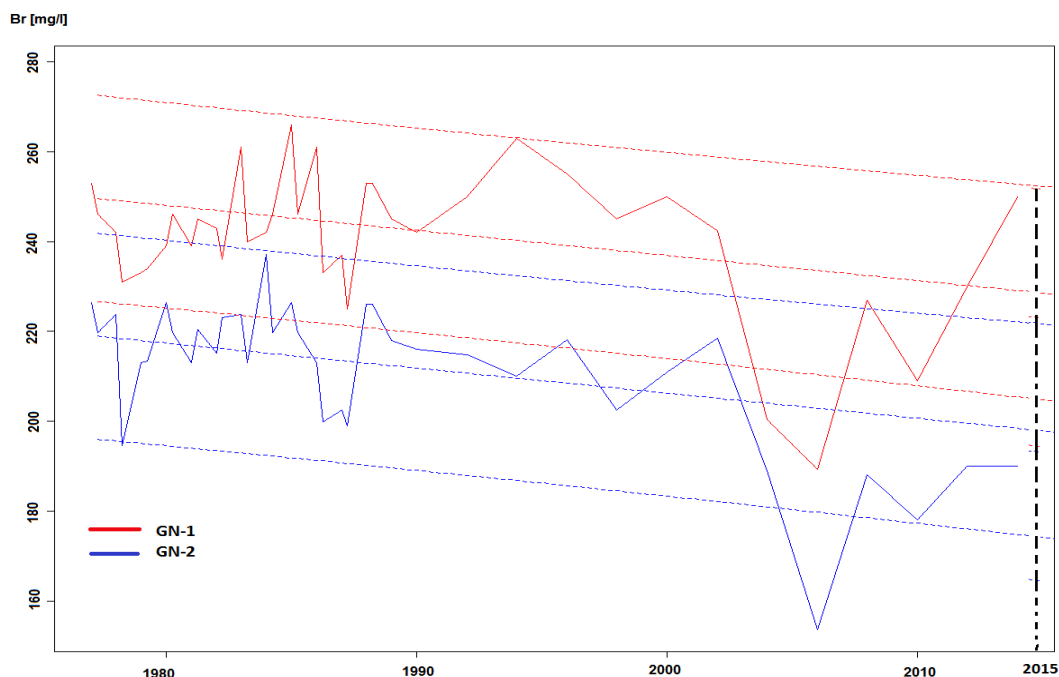
Rys. 3. Zmiany zawartości bromków w solankach z otworów GN-1, GN-2 wraz z prognozą na lata 2015 i 2016 z zastosowaniem modelu efektów stałych

Рис. 3. Изменения содержания бромидов в рассолах скважин GN-1, GN-2 и прогноз на период 2015–2016 гг. с применением модели с фиксированными эффектами

Fig. 3. Changes in the bromides content in brines from GN-1 and GN-2 boreholes using fixed effect model with a forecast for the years 2015 and 2016

Po zastosowaniu dopasowania linii trendu w modelu efektów stałych otrzymano następującą postać prostej regresji: $\hat{y} = -0,80t + 220,83 + 29,88\alpha$, gdzie $\alpha = 1$ dla otworu GN-1, zaś $\alpha = 0$ dla otworu GN-2. Średnie błędy szacunku to 0,15 dla współczynnika liniowego oraz 2,90 dla parametru przy zmiennej zerowej α (rys. 3).

Obliczenia wykonane metodą odpornościową obarczone są mniejszym błędem (efekt usunięcia oznaczeń odstających), w związku z czym dopasowanie prostej do wyników badań hydrogeochemicznych jest lepsze. Uzyskana prosta ma postać: $\hat{y} = -0,56t + 219,09 + 30,65\alpha$, przy średnich błędach szacunku 0,13 i 2,41 dla współczynnika liniowego i parametru przy zmiennej α (rys. 4).



Rys. 4. Zmiany zawartości bromków w solankach z otworów GN-1, GN-2 wraz z prognozą na rok 2015, 2016 z zastosowaniem metody odpornościowej

Рис. 4. Изменения содержания бромидов в рассолах скважин GN-1, GN-2 и прогноз на период 2015–2016 гг. с применением статистически робастного метода

Fig. 4. Changes in the bromides content in brines from GN-1 and GN-2 boreholes using robust statistic model with a forecast for the years 2015 and 2016

WNIOSKI

Wyznaczanie trendów w ocenie zmian jakości wód podziemnych jest przydatne w celu określenia zmian składników w czasie. Zastosowanie metod analitycznych, jak model liniowy, model efektów stałych czy model odporny, pozwala na wyznaczenie trendu w przypadku różnych szeregów czasowych.

Najmniejszym błędem statystycznym i jednocześnie największym zakresem szacowanych wartości charakteryzuje się model „odporny”. Wyniki analiz chemicznych z otworów GN-1 i GN-2 wskazują, że zawartość bromków w wodach podziemnych Uzdrowiska Goczałkowice-Zdrój wykazuje tendencję spadkową.

Stężenia bromków w roku 2012 i 2014 w solankach z opisywanych otworów są wyższe w stosunku do lat poprzednich. Jest to efekt zmiany głębo-

kości eksploatacji solanek na terenie uzdrowiska. Prognozy zawartości bromków na lata 2015 i 2016 z użyciem omawianych trzech metod statystycznych nie wskazują jednak na zmianę trendu.

Pracę zrealizowano w ramach współpracy naukowej między Katedrą Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WNoZ UŚ a Uzdrowiskiem Goczałkowice-Zdrój.

LITERATURA

- Christensen R., 2001: Advanced linear modeling. Springer, New York: 376 s.
 Jankowiak J. (red.), 1971: Balneologia kliniczna. PZWL, Warszawa: 366 s.
 Koczy P., 2014: Balneologiczne i fizykochemiczne walory uzdrowiska Goczałkowice-Zdrój. WNoZ UŚ, Sosnowiec (m-pis).

- Kondracki J., 2000: Geografia regionalna Polski. WN PWN, Warszawa: 440 s.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002: Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. WN PWN, Warszawa: 448 s.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990: Hydrogeologia ogólna. WG, Warszawa: 623 s.
- Sokołowski A., 1978: Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych Goczałkowic Zdroju, aneks nr 3. Balneoprojekt, Warszawa (m-pis).
- Suchy P., 2003: Wody lecznicze Uzdrawiska Goczałkowice Zdrój – ochrona zasobów i perspektywy ujmowania. *Górnictwo. ZN Pol. Śl.*, 256, Warszawa: 215–220.
- Suchy P., 2014: Operat ewidencyjny zasobów eksploatacyjnych złoża wody leczniczej (solanki) w Goczałkowicach-Zdroju ujętej otworami GN-1, GN-2 i G-21 wg stanu na dzień 31.12.2014 r. z okresową analizą racjonalności gospodarki złożem. Goczałkowice-Zdrój (m-pis).