

Analiza zmian chemizmu wód leczniczych Ciechocinka w trakcie wieloletniej eksploatacji

Lech Poprawski*, Teresa Jasiak*, Mirosław Wąsik**,**

The analysis of regime changes of the Ciechocinek medicinal water during exploitation (Central Poland)

Summary. The waters of Ciechocinek have been described as Cl-Na, F, Br, B brine water, hypothermal brine water and Cl-Na water. Their occurrence is associated with Jurassic and Quaternary deposits. The salinity of Ciechocinek ground waters has been known for the last several hundred years. Maximal salinity has been noted in water of Ciechocinek area and 1.5–2 kilometres to the north of the town. The mineralisation of waters related to Quaternary deposits is a result of mixing with shallow brine water in the Jurassic aquifer. Cl occurs in amounts of several tens g/dm³ of water and its concentration increases with depth. The concentration of Cl⁻ ion is more than 90% of the total amount of anions and the concentration of Na⁺ ion is greater than 80% of the total amount of cations concentrated in salt-waters. The Ciechocinek brine water also contains minor amounts of SO₄²⁻ anions and H₂S. Concentration of these compounds decreases with depth. The presence of Br⁻ and J⁻ anions also has been established.

Medicinal waters in Ciechocinek are exploited by eight boreholes which depth is ranging from 18 to 1378 metres. Total Ciechocinek water resources are estimated to 339 m³/h.

Chemical analyses that have been carried out from 1968 to 1993 indicate changes in the brine waters according to changes of groundwater regime due to exploitation. These changes include: the increase in the concentration of basic brine water components (Cl⁻, Na⁺ and SO₄²⁻) and the decrease of water pH in the deepest bore holes. Shallow waters in Jurassic aquifer (borehole no. 11) and Quaternary aquifer indicate decrease of the basic elements concentration. These changes are caused by the disturbances in natural hydrochemical balance due to several years of intensive exploitation.

Początki uzdrowiska w Ciechocinku sięgają pierwszej połowy XIX w., kiedy to dzięki staraniom S. Staszica i F.K. Druckiego-Lubeckiego odkryto bogate złoża solanki i od 1836 roku zaczęto je wykorzystywać do celów leczniczych (Kajoch, 1990). W latach 1824–1833 i 1859 wybudowano istniejące do dziś — najbardziej znane w Europie — tężnie oraz warzelnię soli. Głównymi kierunkami leczniczymi tego znanego w Polsce uzdrowiska są choroby reumatyczne, stany pourazowe, choroby serca oraz przewlekłe nieżyty górnych dróg oddechowych. Głównym surowcem balneologicznym uzdrowiska są wody mineralne typu solanek, których roczne wydobycie wynosi ok. 275 tys. m³ (Poprawski i in., 1995).

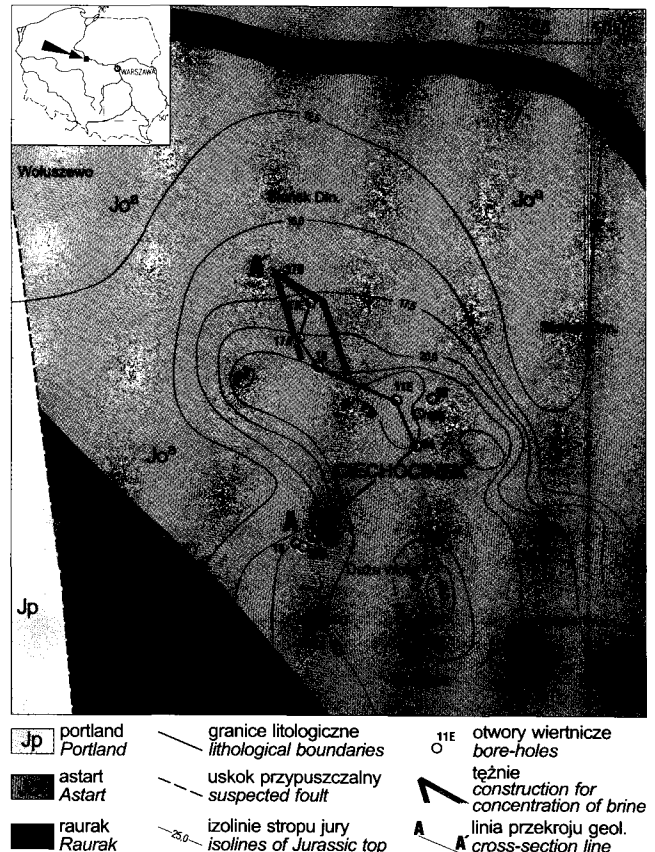
Geologiczne warunki występowania wód leczniczych

Złoże wód leczniczych Ciechocinek znajduje się w obrębie antyklinorium kujawsko-pomorskiego. Jest to struktura zbudowana z utworów mezozoicznych oraz cechsztyńskiej formacji solonośnej, przykryta przez utwory trzecio- i czwartorzędowe.

W obrębie antyklinorium występuje wiele depresji i elewacji, wśród których najbardziej na wschód wysunięta jest antyklina Ciechocinka (ryc. 1). Zaznacza się ona wychodniami wapieni astartu, przykrytymi w centrum uzdrowiska zaledwie kilkunastometrową serią utworów czwartorzędowych (ryc. 3). Maksymalne podniesienie tej antykliny przypada na okolice Wagańca, a w kierunku na północ i na zachód od Ciechocinka obniża się. Z gwałtownego obniżenia się stropu malmu i doggeru między Ciechocinkiem a Aleksandrowem Kujawskim można sądzić, że antyklina Ciechocinka jest ograniczona od strony zachodniej depresją tektoniczną o kierunku NNW–SSE.

W utworach jury na terenie Ciechocinka występują wszystkie trzy piętra tego okresu (ryc. 2). Jura dolna (lias) to naprzemianległe zalegające osady piaskowców drobnoziarnistych i łupków ilastych. Jura środkowa (dogger) jest reprezentowana przez piaskowce z wkładkami wapieni, łupków i gipsów. Jura górna (malm) jest wykształcona w postaci wapieni, dolomitów oraz wapieni oolitowych z muszłowcami i przewarstwieniami wapieni marglistych, o łącznej miąższości ok. 350 m.

Utwory trzeciorzędowe występujące na terenie Ciecho-



Ryc. 1. Szkic strukturalno-tektoniczny jury w rejonie Ciechocinka
Fig. 1. Sketch map of tectonic structures in the Ciechocinek area

*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław

**stypendysta Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej

Tab. 1. Charakterystyka statystyczna składu fizykochemicznego solanki z odwiertu nr 11 Grzyb w Ciechocinku na podstawie okresowych analiz z lat 1970–1993

Parametr	pH	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Cl	Br	J	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	H ₂ SO ₄	HBO ₂
	mg/dm ³																
Liczba pom.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17	18	18	18	18	18	18	18
Wart. min.	6,00	13000	130	0,60	6,40	1002	581	50,00	3,60	0,05	20295	49,01	3,10	688	258	6,50	14,30
Wart. maks.	7,26	175000	195	5,00	25,00	1400	799	80,00	14,80	0,30	30973	77,26	5,06	1120	497	38,91	81,00
Wart. śred.	6,66	16233	179	2,76	18,52	1281	690	66,33	8,18	0,16	28127	64,92	4,24	978	376	14,24	52,73
Me-diana	6,59	16125	183	2,00	20,25	1294	685	69,00	8,45	0,15	28292	63,80	4,32	1003	389	13,00	55,15
Wa-riancja	0,17	1399706	229	2,46	37,27	8397	1901	106,71	10,30	0,00	773755	39,47	0,28	8407	2938	47,32	372,56
Odch. śr.	0,34	900	10	1,35	4,78	65	30	8,15	2,63	0,05	1910	4,54	0,39	64	39	3,85	15,72
Odch. stand.	0,41	1183	15	1,57	6,11	92	44	10,33	3,21	0,06	2782	6,28	0,53	92	54	6,88	19,30
Ufność	0,40	1159	15	1,54	5,98	90	43	10,12	3,15	0,06	2726	6,16	0,52	90	53	6,74	18,92

Tab. 2. Charakterystyka statystyczna składu fizykochemicznego solanki z odwiertu nr 14 Terma w Ciechocinku na podstawie okresowych analiz z lat 1970–1992

Parametr	Temp.	pH	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Cl	Br	J	SO ₄ ²⁻	HCO ₃	H ₂ SO ₄	HBO ₂
	°C	mg/dm ³																
Liczba pom.	18	18	18	18	16	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Wart. min.	26,00	3,36	14250	150	0,45	0,00	1202	194	50,00	1,02	0,00	16018	37,30	1,10	38	264	7,80	11,70
Wart. maks.	28,20	7,20	15000	1550	4,00	20,00	1307	541	60,00	2,23	0,35	26803	61,80	2,20	78	415	69,70	47,00
Wart. śred.	27,43	6,54	14539	235	2,01	12,44	1262	478	52,50	1,57	0,20	25498	57,02	1,74	61	360	27,27	26,12
Me-diana	27,55	6,60	14500	155	2,00	13,75	1263	491	50,00	1,65	0,23	25931	58,60	1,80	62	361	16,25	25,10
Wa-riancja	0,39	0,73	43693	107829	0,65	27,04	679	5553	13,32	0,11	0,01	570416	30,99	0,08	113	798	30,50	130,00
Odch. śr.	0,49	0,44	149	146	0,52	3,73	20	37	2,89	0,28	0,08	1053	3,47	0,19	8	15	16,14	9,98
Odch. stand.	0,62	0,85	209	328	0,81	5,20	26	75	3,65	0,33	0,10	2388	5,57	0,28	11	28	18,99	11,40
Ufność	0,29	0,39	97	152	0,39	2,40	12	34	1,69	0,15	0,05	1103	2,57	0,13	5	13	8,77	5,27

cinika są wykształcone w postaci ilów ciemnoszarych z przewarstwieniami węgla brunatnego. Osady te, zaliczane do mioceńskiej formacji burowęglowej leżą bezpośrednio na osadach malmu. Pokrywa utworów trzeciorzędowych nie występuje na całym obszarze jako poziom ciągły. Na terenie Ciechocinka osady trzeciorzędowe pojawiają się w formie szczątkowej, a w rejonie parku zdrojowego i pijalni wód zupełnie ich brak. Miąższość tych utworów waha się w granicach od 0–1 m w centrum miasta do kilkunastu metrów w kierunku północno-wschodnim i południowo-zachodnim (ryc. 3). Największą ich miąższość, w granicach 93 m stwierdzono w otworze wiertniczym w Aleksandrowie Kujańskim.

Czwartorzędowe utwory plejstocenu są wykształcone w postaci piasków rzecznych tarasów akumulacyjnych Wisły, piasków akumulacji lodowcowej oraz glin zwałowych. Osady holocenu występują w postaci torfów, mad rzecznych i tarasów akumulacyjnych Wisły, piasków wydmych i piasków deluwialnych. Miąższość czwartorzędu zmienia się

od kilkunastu metrów w samym Ciechocinku do kilkudziesięciu metrów na północny-zachód i zachód od miasta.

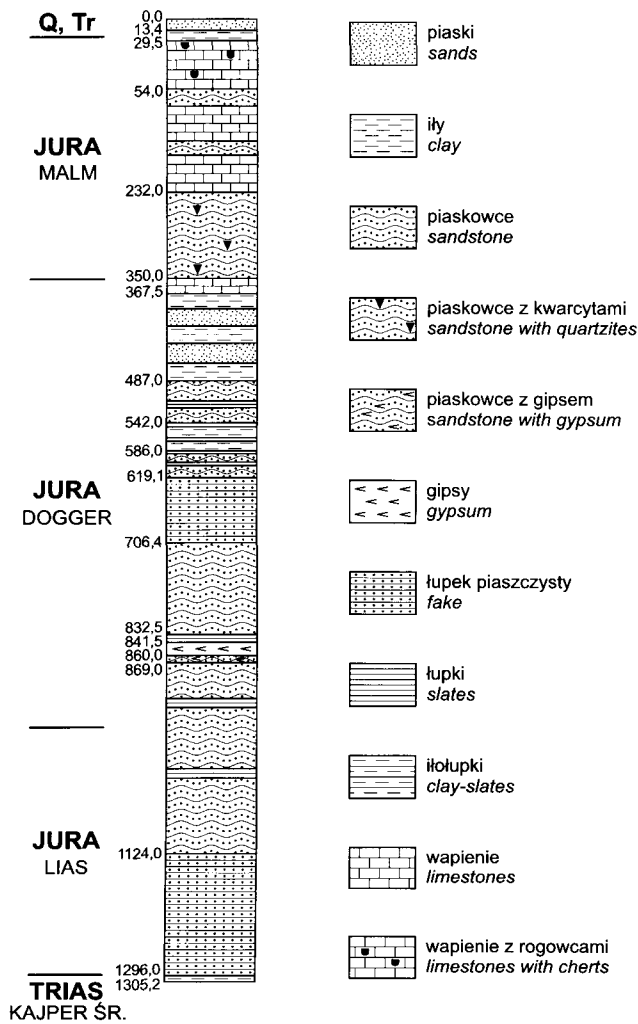
Warunki hydrogeologiczne oraz charakterystyka ujęć wód leczniczych

Czwartorzędową warstwę wodonośną tworzą piaski oraz żwiry i otoczaki. Zwierciadło wód gruntowych w całej nizinie utrzymuje się na wysokim poziomie (1–4 m p.p.t.), a jego położenie uzależnione jest od okresowych stanów wody w Wiśle. Niżej leżące poziomy wodonośne są związane z utworami malmu. Oddzielone są od piętra czwartorzędowego warstwą glin zwałowych i ilów mioceńskich. Miejscami jednak miąższość utworów rozdzielających jest całkowicie zredukowana. W związku z tym istnieją bezpośrednie kontakty utworów jurajskich z zawadzionymi osadami czwartorzędu, co sprzyja kontaktowaniu się wód tych dwóch formacji.

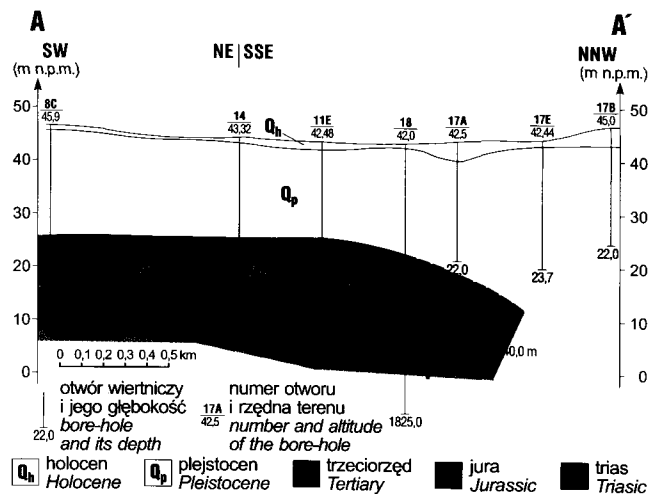
Wody lecznicze Ciechocinka scharakteryzowane zosta-

Tab. 3. Charakterystyka statystyczna składu fizykochemicznego solanki z odwiertu nr 16 w Ciechocinku na podstawie okresowych analiz z lat 1970–1992

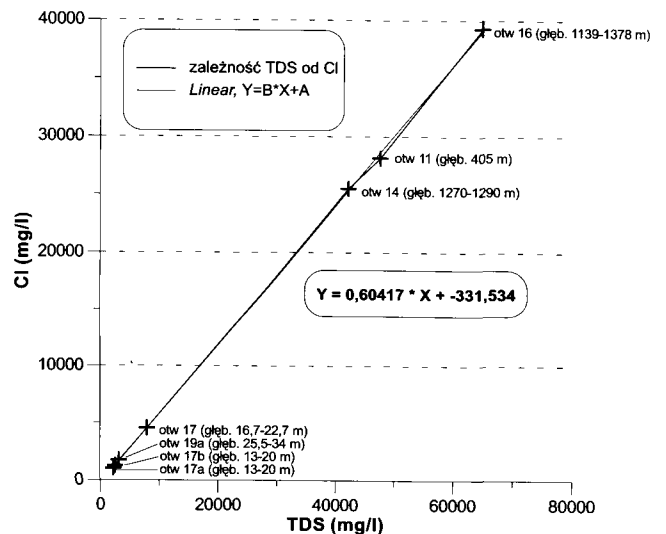
Parametr	Temp.	pH	Na ⁺	K ⁺	Li ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sr ²⁺	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Cl ⁻	Br ⁻	J	SO ₄ ⁻²	HCO ₃	H ₂ SO ₃	HBO ₂
	°C	mg/dm ³																
Liczba pom.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Wart. min.	27,00	5,65	21400	19	0,05	0,00	1860	556	65,00	5,64	0,00	37833	72,50	2,00	421	187	13,00	33,20
Wart. maks.	34,00	7,36	23500	220	3,00	20,40	2084	647	90,00	11,81	0,45	41267	13590	2,64	536	372	22,10	81,10
Wart. sred.	32,29	6,57	22236	195	2,16	14,06	1962	611	80,22	8,93	0,29	39249	84,19	2,27	473	307	16,82	49,14
Mediana	33,00	6,39	22325	203	2,50	15,50	1964	613	80,00	9,10	0,33	39318	82,44	2,30	473	307	16,90	48,63
Wariancja	3,38	0,24	29167	1975	0,62	29,60	2735	600	56,18	2,44	0,02	783387	184,10	0,03	958	1516	6,93	15412
Odch. sr.	1,42	0,41	418	20	0,62	4,04	38	20	6,36	1,09	0,10	669	6,68	0,14	24	24	2,11	9,95
Odch. stand.	1,84	0,49	541	44	0,79	5,44	52	24	7,50	1,56	0,13	855	13,57	0,18	31	39	2,63	12,41
Ulinosc	0,85	0,23	250	21	0,36	2,51	24	11	3,46	0,72	0,06	409	6,27	0,08	14	18	1,22	5,74



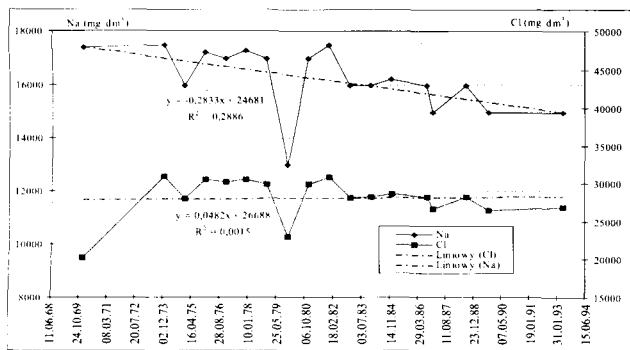
Ryc. 2. Profil geologiczny odwiertu nr 16 (Terma) w Ciechocinku
Fig. 2. Geological profile of the borehole no. 16 in Ciechocinek



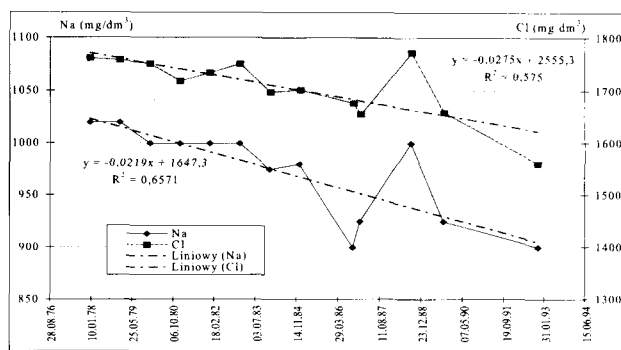
Ryc. 3. Przekrój geologiczny przez okolice Ciechocinka
Fig. 3. Geological cross-section through the Ciechocinek area



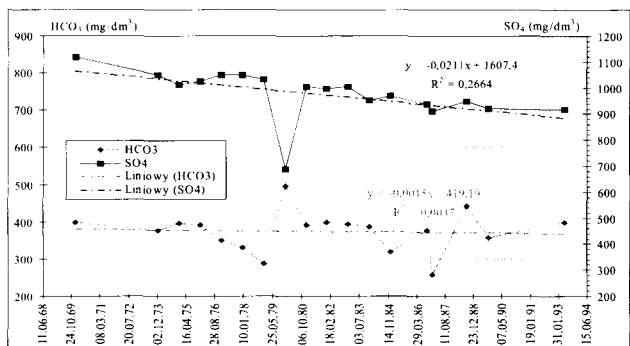
Ryc. 4. Zależność zawartości Cl⁻ od suchej pozostałości (TDS) w wodach leczniczych Ciechocinka
Fig. 4. The relationship of the Cl⁻ concentration to TDS in the medicinal waters of Ciechocinek



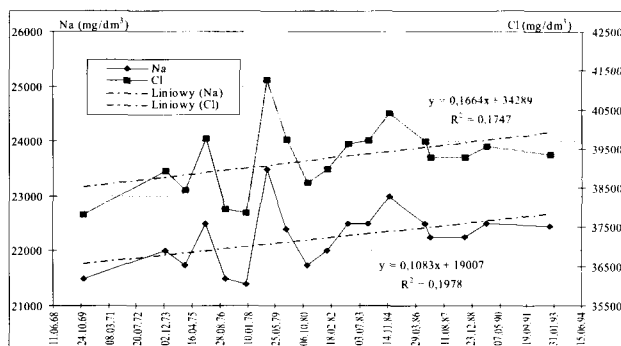
Ryc. 5. Zmiany zawartości Cl i Na⁺ w ujęciu nr 11 (Grzyb) na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1993
Fig. 5. Changes of Cl and Na⁺ content in intake no 11 (Grzyb) according to periodical analyses in brines in 1970-1993



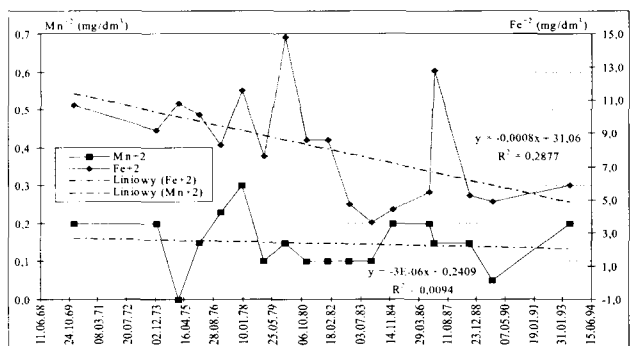
Ryc. 9. Zmiany zawartości Cl i Na⁺ w odwiercie nr 19a na podstawie okresowych analiz chemicznych wody z lat 1978-1992.
Fig. 9. Changes of Cl and Na⁺ content in drilling hole no 19a according to periodical analyses in mineral water in 1978-1992



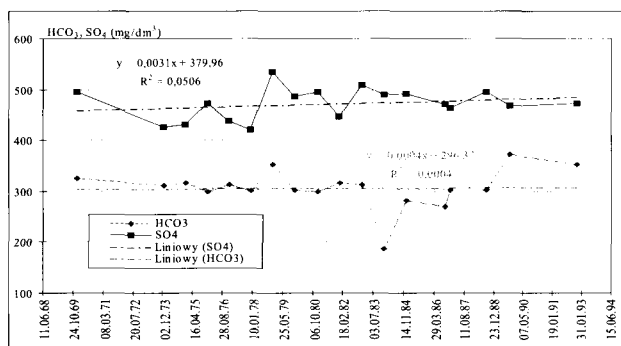
Ryc. 6. Zmiany zawartości HCO₃⁻ i SO₄²⁻ w ujęciu nr 11 (Grzyb) na podstawie okresowych analiz chemicznych z lat 1970-1993
Fig. 6. Changes of HCO₃⁻ and SO₄²⁻ content in intake no 11 (Grzyb) according to periodical analyses in brines in 1970-1993



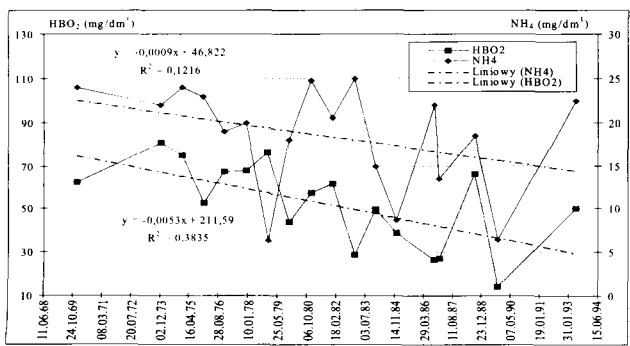
Ryc. 10. Zmiany zawartości Cl i Na⁺ w odwiercie nr 16 na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992.
Fig. 10. Changes of Cl and Na⁺ content in drilling hole no 16 according to periodical analyses in brines in 1970-1992



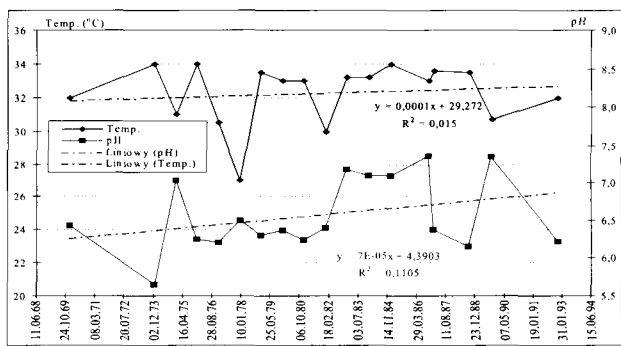
Ryc. 7. Zmiany zawartości Fe²⁺ i Mn²⁺ w ujęciu nr 11 (Grzyb) na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1993
Fig. 7. Changes of Fe²⁺ and Mn²⁺ content in intake no 11 (Grzyb) according to periodical analyses in brines in 1970-1993



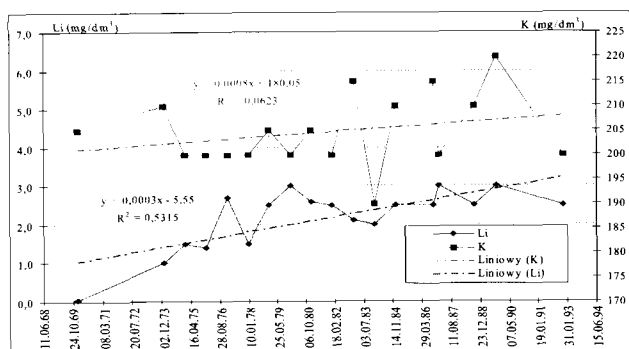
Ryc. 11. Zmiany zawartości HCO₃⁻ i SO₄²⁻ w odwiercie nr 16 na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992
Fig. 11. Changes of HCO₃⁻ and SO₄²⁻ content in drilling hole no 16 according to periodical analyses in brines in 1970-1992



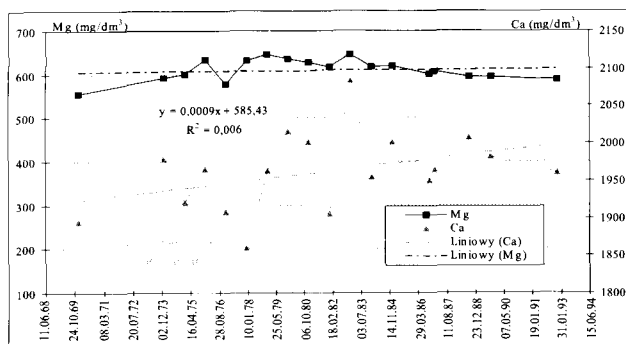
Ryc. 8. Zmiany zawartości HBO₂ i NH₄⁺ w ujęciu nr 11 (Grzyb) na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1993
Fig. 8. Changes of HBO₂ and NH₄⁺ content in intake no 11 (Grzyb) according to periodical analyses in brines in 1970-1993



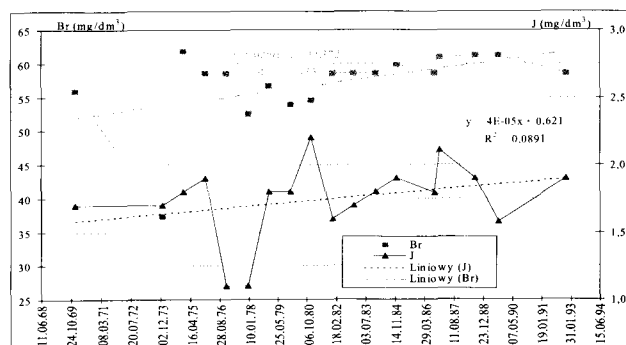
Ryc. 12. Zmiany odczynu pH i temperatury wody w odwiercie nr 16 na podstawie okresowych pomiarów z lat 1970-1992
Fig. 12. Changes of pH and temperature in drilling hole no 16 according to periodical measurements in 1970-1992



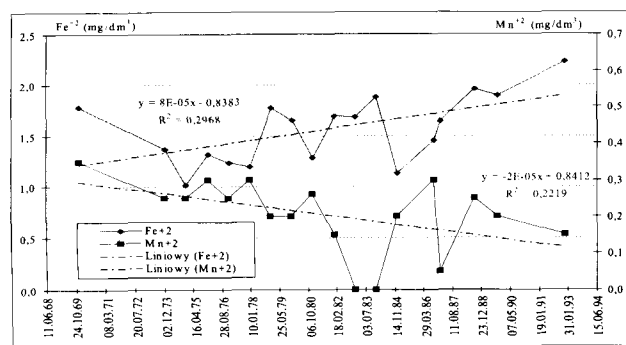
Ryc. 13. Zmiany zawartości Li^+ i K^+ w odwiercie nr 16 na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992
Fig. 13. Changes of Li^+ and K^+ content in drilling hole no 16 according to periodical analyses in brines in 1970-1992



Ryc. 14. Zmiany zawartości Ca^{2+} i Mg^{2+} w odwiercie nr 16 na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992
Fig. 14. Changes of Ca^{2+} and Mg^{2+} content in drilling hole no 16 according to periodical analyses in brines in 1970-1992



Ryc. 15. Zmiany zawartości Br^- i J^- w odwiercie nr 14 (Terma) na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992
Fig. 15. Changes of Br^- and J^- content in drilling hole no 14 (Terma) according to periodical analyses in brines in 1970-1992



Ryc. 16. Zmiany zawartości Fe^{2+} i Mn^{2+} w odwiercie nr 14 (Terma) na podstawie okresowych analiz chemicznych solanki z lat 1970-1992
Fig. 16. Changes of Fe^{2+} and Mn^{2+} content in drilling hole no 14 (Terma) according to periodical analyses in brines in 1970-1992

ły jako hipotermalne solanki Cl-Na, F, Br, J, B, oraz wody chlorkowo-sodowe niesolankowe. Występowanie wód mineralnych jest związane zarówno z utworami czwartorzędowymi jak i jurajskimi. Pochodzenie solanek Ciechocinka jest problematyczne. Ich genezę wiązano z ługowaniem cechsztyńskiej serii solnej (Samsonowicz, 1954). Według Dowgiałły (1969, 1971) istnieją przesłanki wskazujące, że przynajmniej w części są to mezozoiczne wody reliktowe. W pracy Dowgiałły i Tongiorgi (1972) jest wyrażony pogląd, że wody te mają charakter wód mieszanych, sedymentacyjno-infiltracyjnych. Zdaniem Zuberka i Grabczaka (1991) dane izotopowe i niektóre wskaźniki hydrochemiczne wykazują, że solanki Nizy Polskiego są związane z paleoinfiltracją w gorącym klimacie o dominującym udziale zasolenia z ługowanych utworów solnych. Autorzy niniejszej pracy, na podstawie analizy ponad 25-letnich badań hydrochemicznych solanek Ciechocinka wyrażają pogląd, że niezależnie od pierwotnej genezy zasolenia, w trakcie długotrwałej eksploatacji dochodzi do mieszania się wód o różnym stopniu zmineralizowania.

Maksymalną zawartość jonu Cl^- stwierdzono na terenie samego Ciechocinka oraz ok. 1,5–2 km na północ od miasta. Zasolenie to maleje w pozostałych kierunkach. Mineralizacja wód w czwartorzędzie ma charakter wtórny. Wywołana jest ich mieszanym się z zasolonymi wodami jurajskimi. Mieszanie to zachodzi w dwojaki sposób. Po pierwsze wody z utworów jury kontaktują się z wodami czwartorzędowego piętra wodonośnego na skutek zredukowania poziomu izolacyjnego między osadami jury i czwartorzędu. Druga przyczyna jest bardziej złożona. Obejmuje ona wadliwe zamykanie poziomów jurajskich w otworach wiertniczych oraz przecieki solanki ze zbiorników tężniowych, rur kanalizacyjnych i rowów odpływowych (Kucharski & Twarogowski, 1995).

Ciągła lub okresowa eksploatacja złoża wód leczniczych na terenie Ciechocinka odbywa się z ośmiu odwiertów o głębokościach od 18 do 1378 m. Łączne zasoby eksploatacyjne wód leczniczych Ciechocinka wynoszą 339 m^3/h .

Przedmiotem eksploatacji są następujące odwierty:

Odwiert nr 11 Grzyb — wykonany w latach 1909–1911 do głębokości 414,58 m, zrekonstruowany w 1961 roku. Obecna głębokość otworu wynosi 405,0 m. Odwiert położony w środkowej części wypiętrzenia utworów mezozoicznych (ryc. 1), ujmuje wodę z piaskowców jury. W porównaniu z innymi głębokimi ujęciami otwór 11 ma anomalnie wysokie zasolenie wody (ryc. 4, tab. 1). Jest to 4,51% solanka Cl-Na, F, Br, J, B. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia wynoszą 60 m^3/h .

Odwiert nr 14 Terma (ryc. 2) — wykonany w 1932 roku do głębokości 1305,2 m. Po rekonstrukcji przeprowadzonej w roku 1938 ma głębokość 757 m. Odwiert ujmuje wodę leczniczą z piaskowców doggeru. Jest to 4,43% solanka hipotermalna Cl-Na, Br, J, B (tab. 2). Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia wynoszą 135 m^3/h .

Odwiert nr 16 — wykonany w 1952 r. do głębokości 1378,1 m, ujmuje solankę z piaskowców liasu. Jest to 6,56% solanka hipotermalna Cl-Na, Br, J, B, Fe (tab. 3). Zatwierdzone zasoby ujęcia — 70 m^3/h .

Odwiert nr 17 — wykonany w 1962 r. do głębokości 23,7 m. Ujmuje on wodę z piasków czwartorzędowych. Typ wody: 0,79 % woda Cl-Na, Br. Zasoby eksploatacyjne — 30 m^3/h .

Odwiert nr 17a oraz 17b — wykonane w 1976 r. do głębokości 22,0 m. Ujmują 0,26 % wodę Cl-Na, Br ze

źwirów i piasków czwartorzędu. Zatwierdzone zasoby eksploatacyjne wynoszą odpowiednio 54 m³/h i 41 m³/h. Ze względu na brak zapotrzebowania na tego typu wody odwierty te zostały wyłączone z eksploatacji.

Odwiert nr 18 — wykonany w 1966 r. do głębokości 1825 m. Dolna część otworu została zlikwidowana (do głębokości 1450 m). Na głębokości 1337,5–1275,3 m ujęto solankę z piaskowców liasu dolnego. Po nieudanej rekonstrukcji otwór nie jest eksploatowany. Zatwierdzone zasoby przed rekonstrukcją — 80 m³/h.

Odwiert nr 19a — wykonany w 1978 r. do głębokości 34 m. Ujętą warstwę stanowią wapienie oolitowe i piaskowce drobnoziarniste jury. Odwiert ujmuje 0,33% wodę Cl-Na w ilości 9 m³/h.

Zmiany chemizmu wód leczniczych

W celu jakościowej i ilościowej ochrony złoża wód leczniczych w uzdrowisku wykonuje się wiele pomiarów parametrów złożowych i eksploatacyjnych. Analizy chemiczne wykazują, że dominującym anionem jest tu Cl⁻, występujący w ilościach do kilkudziesięciu g/dm³ wody. Zawartość jonu Cl⁻ przewyższa 90% całkowitej ilości anionów, natomiast jonów Na⁺ jest ponad 80% całej ilości kationów.

Mimo pozornie stabilnej zawartości chlorków, w odwiercie nr 16 na przestrzeni 20 lat zaznaczył się ich wzrost o ok. 5000 mg/dm³ (ryc. 10).

Solanki Ciechocińskie zawierają też nieznaczne ilości anionu SO₄²⁻, którego zawartość nie wykazuje większych zmian, wyjątek stanowi tutaj odwiert nr 11, w którym zaznacza się spadek zawartości tego anionu. Kationy Ca²⁺ i Mg²⁺ występują w stosunku około 2:1.

Wieloletnia, intensywna eksploatacja solanek ze złoża w Ciechocinku jest przyczyną zmian reżimu wód. Zmiany te przebiegają różnie, w zależności od głębokości ujęcia i wielkości poboru wody. Na prezentowanych wykresach (ryc. 5–16) przedstawiono liniowe funkcje trendów zmian poszczególnych parametrów hydrochemicznych określanych corocznie w ciągu ostatnich 25 lat. W wyniku długotrwałej eksploatacji solanki, w ujęciu nr 11 *Grzyb* następuje wysłodzenie wody (ryc. 5, 6). Główną przyczyną wysłodzenia solanki jest mieszanie się wysoko zmineralizowanych wód z infiltrującymi od powierzchni wodami słodkimi, przy czym wyraźniej niż zmiany łatwo migrujących chlorków zaznacza się spadek zawartości jonów Na⁺, które oprócz rozcieńczenia podlegają dodatkowo w trakcie ruchu solanki procesom wymiany kationowej (ryc. 5). Proces mieszania się wód można wyraźnie prześledzić na wykresie zależności Cl⁻ od suchej pozostałości wykonanym dla wód z poszczególnych ujęć (ryc. 4). Oprócz odwiertu nr 11 (położonego, jak już wspomniano, w środku wypiętrzenia utworów mezozoicznych) obserwuje się wyraźny wzrost zasolenia wody

z głębokością. Zmiana proporcji ilościowych pomiędzy ascendującymi z podłoża solankami i infiltrującymi od powierzchni wodami niezasolonymi wpływa na zmianę naturalnego układu hydrogeochemicznego (zwłaszcza potencjału utleniająco-redukcyjnego). Niewielki wzrost pH wody powoduje obniżenie potencjału utleniająco-redukcyjnego. W naturalnych warunkach łatwiej przebiegają reakcje na niższych potencjałach (Macioszczykowa, 1987). Przykładowo, żelazo dwuwartościowe przechodzi w trójwartościowe przy niższym potencjale redoks niż mangan dwuwartościowy w czterewartościowy. Reakcja Mn²⁺ → Mn⁴⁺ zajdzie więc dopiero po utlenieniu całego żelaza Fe²⁺ → Fe³⁺. Stąd też na ryc. 7 wyraźnemu spadkowi Fe²⁺ towarzyszy stosunkowo stabilna zawartość Mn²⁺. Zmiany warunków redoks są również przyczyną wyraźnego spadku zawartości jonów NH₄⁺ w tym ujęciu (ryc. 8). Podobnie, wysłodzeniu podlegają mniej zmineralizowane wody płytszych ujęć (otwory 17, 17a i 19a) — ryc. 9.

Zupełnie odmiennie przebiegają zmiany chemizmu solanki w ujęciach najgłębszych (otwory 14 i 16). Tu, ze względu na utrudnione kontakty hydrauliczne z płytszymi horyzontami wodonośnymi, eksploatacja powoduje dopływ solanki z głębszych partii jury. Dochodzi do wzrostu zasolenia wód (ryc. 10–14), któremu towarzyszy również wzrost temperatury wody o około 1°C (ryc. 12) oraz przyrost zawartości bromków i jodków (ryc. 18). Inaczej też niż w płytszych ujęciach zachowują się jony Fe²⁺ i Mn²⁺ (ryc. 16).

Literatura

- DOWGIAŁŁO J. 1969 — Niektóre problemy genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Kujaw. Przew. 41 Zjazdu Pol. Tow. Geol.: 143–151.
- DOWGIAŁŁO J. 1971 — Studium genezy wód zmineralizowanych w utworach mezozoicznych Polski Północnej. Wyd. UW, Biul. Geol., 13: 133–224.
- DOWGIAŁŁO J., KARSKI A. & POTOCKI I. 1969 — Geologia surowców balneologicznych. Wyd. Geol.
- DOWGIAŁŁO J. & TONGIORGI E. 1972 — The isotopic composition of oxygen and hydrogen in some brines from the Mesozoic in north-west Poland. Geothermics, 1: 61–69.
- KAJOCH A. (red.) 1990 — Atlas Uzdrowisk Polskich. PPKW, Warszawa–Wrocław: 102–107.
- KUCHARSKI R. & TWAROGOWSKI J. 1995 — Dynamika rozprzestrzeniania się zasolenia i zanieczyszczeń wód podziemnych na obszarze Ciechocinka. Prz. Geol., 43: 483–486.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol.: 47–52.
- POPRAWSKI L., JASIAK T., GRZEŚKOWIAK W. & WĄSIK M. 1995 — Projekt zagospodarowania złoża wód leczniczych w Ciechocinku. PPUH Hydrogeo Ltd, Wrocław.
- SAMSONOWICZ J. 1954 — Wyniki hydrogeologiczne dwu głębokich wierceń w Ciechocinku. Biul. Inst. Geol., 91: 35–37.
- ZUBER A. & GRABCZAK J. 1991 — O pochodzeniu solanek mezozoiku Polski centralnej i północnej. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, t. V. Wyd. SGGW-AR, Warszawa: 202–207.