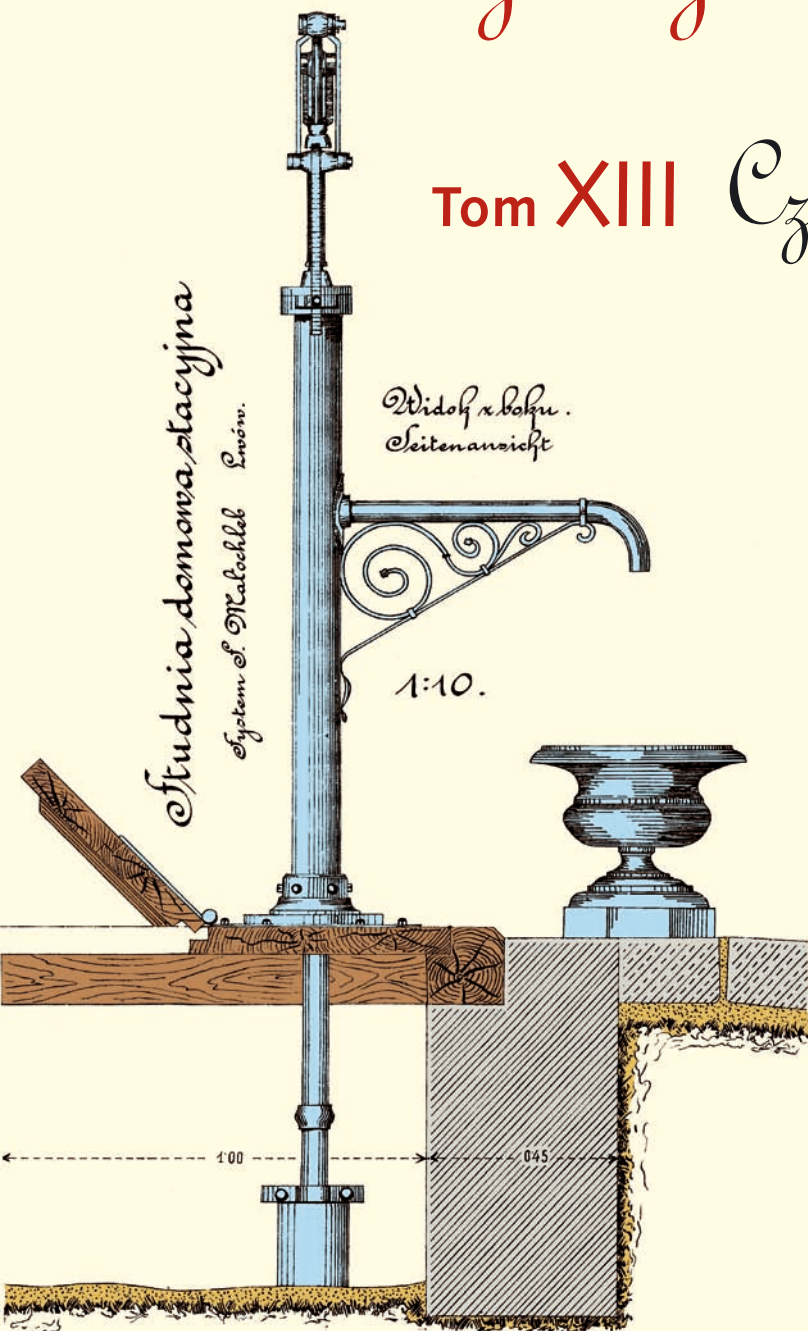


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska  
Wojciech Ciężkowski  
Józef Górski  
Andrzej Kowalczyk  
Ewa Krogulec  
Grzegorz Malina  
Jerzy Małecki  
Marek Marciniak  
Jacek Motyka  
Marek Nawalany  
Jan Przybyłek  
Andrzej Rózkowski  
Andrzej Sadurski  
Andrzej Szczepański  
Stanisław Staśko  
Stanisław Witczak  
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku  
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem  $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ : pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, [www.pretext.com.pl](http://www.pretext.com.pl)

Druk: ROMA-POL, [www.romapol.pl](http://www.romapol.pl)

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Elżbieta Liber, Arkadiusz Liber

**Zastosowanie metody korelacji okienkowej do badania współzależności parametrów złożowych ujęć wód leczniczych**

**The Use of the Method of the Fenestrate Correlation to the Research of the Correlation of Deposit Parameters of Seizures of Curative Waters Exploited Autogenously**

**Słowa kluczowe** wody lecznicze, parametry złożowe, metoda korelacji okienkowej

**Key words** curative waters, deposit parameters, the method of the fenestrate correlation

**Abstract** The paper presents one introduced results of research in the range of the elaboration and uses of the method of the fenestrate correlation to the investigation of intakes of curative waters exploited automatically. One described the algorithm and one executed the permissive software on the execution of calculations on temporary ranks of the efficiency, ion concentrations  $\text{HCO}_3^-$ , contents of the carbon dioxide for water intakes of curative of exploited autogenously and for meteorological such magnitudes as the magnitude of the fall, the pressure and the temperature. One passed detailed numeric calculations of coefficients of the fenestrate correlation for 75 of datasets in every after 34 969 of computational windows. As result of effected calculations one received the set 2 622 675 of coefficients of the fenestrate correlation for intakes Dąbrówka, Marta, Mieszko, Mieszko14, the Młynarz in Szczawno Zdrój which one surrendered to the further numeric analysis. On the job one showed the use of the method of the fenestrate correlation to marking of areas of the potential correlation physical quantities of characterizing of the intakes.

## 1. Wprowadzenie

Badania źródeł wód leczniczych są szczególnie ważne nie tylko ze względu na ocenę parametrów eksploatacyjnych złożeń, lecz również ze względu na możliwość identyfikacji zjawisk fizykochemicznych zachodzących w strukturze hydrogeologicznej na przestrzeni nawet kilkunastu tysięcy lat. Podstawowym źródłem informacji o wodach leczniczych są stacjonarne pomiary parametrów złożowych wykonywane w trakcie eksploatacji ujęć przez pracowników Uzdrawiskowych Zakładów Górniczych. Najczęściej mierzone są takie wielkości jak wydajność ujęcia, temperatura wody, zawartość wybranych jonów lub gazu (głównie dwutlenku węgla). Podane wielkości, mierzone są najczęściej prostymi metodami technicznymi i obciążone są względными błędami pomiaru rzędu 10% lub większymi. Powoduje to występowanie znacznych rozrzutów danych pomiarowych i utrudnia ich dokładną analizę. Do badań analitycznych dane pomiarowe traktuje się najczęściej jako szeregi czasowe. We wcześniejszych pracach autorzy przedstawili metody analizy takich szeregów przy zastosowaniu metod statystycznych (Liber-Madziarz, 2001), metody regresyjnej z wykorzystaniem sieci neuronowych GRNN (Liber, Liber, 2003b) metody wielorozdzielczej analizy falkowej (Liber, Liber, 2003a, c; 2004; 2005b) oraz metody identyfikacji modelu ARMAX (Liber, Liber, 2005a). W zakresie przedstawionych wcześniej rezultatów znalazły się między innymi: aproksymacja wydajności ujęć przy wykorzystaniu zadanego wykładniczego modelu opróżniania zbiornika, predykcja zmian wydajności przy wykorzystaniu analizy falkowej, predykcja zmian wydajności przy wykorzystaniu sieci neuronowych GRNN, predykcja zmian wydajności przy wykorzystaniu metody identyfikacji modelu ARMAX, detekcja wolnozmiennych i szybkozmiennych zmian wydajności przy wykorzystaniu współczynników cD rozwinięć falkowych.

Interesującym problemem badawczym jest ustalenie wzajemnego związku pomiędzy ujęciami znajdującymi się w obrębie struktury hydrogeologicznej oraz ustalenie związku pomiędzy parametrami złożowymi mierzonymi w ujęciu wody leczniczej a wynikami badań meteorologicznych, w tym w szczególności z wielkością opadów, ciśnienia i temperatury powietrza. W pracy z 1990 r. W. Ciężkowski wskazał na możliwość mieszania się wód leczniczych z wodami zwykłymi. W celu określenia ilościowego udziału wód zwykłych autor ten przyjął, że zależność między mineralizacją wody nowo powstającej a zawartością w niej każdego z jonów ma charakter liniowy. W przypadku wód leczniczych w Szczawnie Zdroju udział ten może wahać się od 16% do 77%. Przy interpretacji danych izotopowych wykorzystuje się matematyczne modele określające czas przepływu wód, w których można wprowadzić parametr określający stosunek ilościowy składowej starszej do całkowitej ilości wody w systemie. Z parametrów najlepiej dopasowujących się modeli do rzeczywistych wyników pomiarów trytu można wnioskować o sposobie przepływu wód (Ciężkowski i in., 1996). Opisane metody określania wielkości udziału wód zwykłych w wodach leczniczych opierają się głównie na dostępnych danych hydrochemicznych i izotopowych. Z tego powodu wymusza to konieczność przyjęcia uproszczonych założeń, co do sposobu przepływu i formowania się złożeń wód leczniczych.

W ramach niniejszej pracy przedstawiono metodę korelacji okienkowej oraz jej zastosowania do badań zależności wzajemnej, zależności wielkości mierzonych w ujęciu od czynników atmosferycznych źródeł wód leczniczych. Ze względu na możliwości porównania uzyskanych wyników z wynikami uzyskanymi innymi metodami obliczenia wykonano dla ujęć Dąbrówka, Marta, Mieszko14, Mieszko oraz Młynarz w Szczawnie Zdroju.

## 2. Metoda korelacji okienkowej badań zależności parametrów złożowych źródeł wód leczniczych

Metody statystyczne, a wśród nich metody korelacyjne, opracowywania danych eksperymentalnych stosowane są w nauce powszechnie.

### 2.1. Klasyczne metody korelacyjne

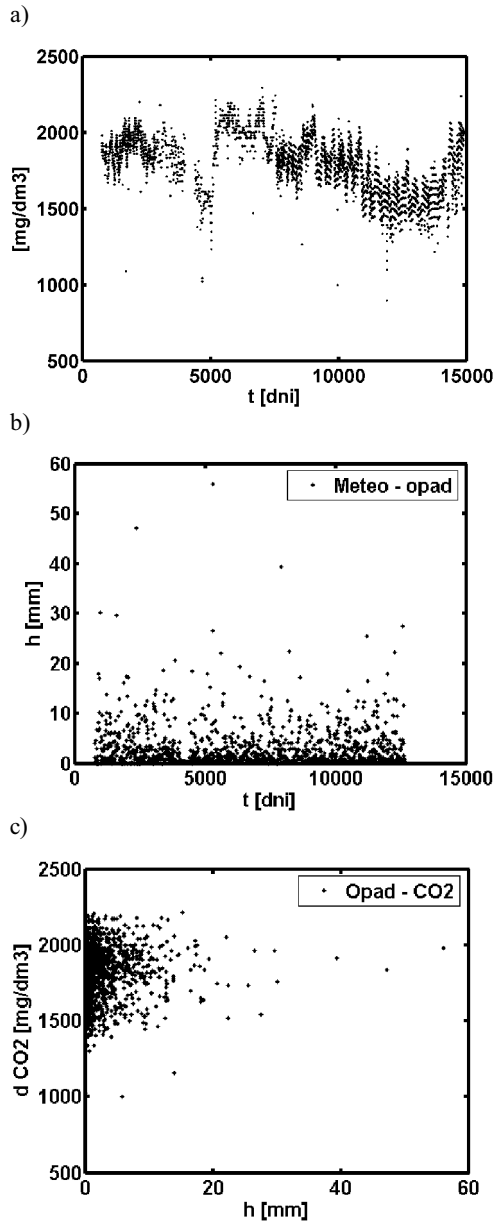
Klasyczne metody korelacyjne pozwalają na wyznaczenie miary zależności wzajemnej dla cech mierzalnych. Przy badaniach korelacyjnych przyjmuje się, że zbiorowość badana jest ze względu na dwie zmienne losowe  $X$ ,  $Y$ , realizowane w postaci dwóch szeregów szczegółowych. Punkty  $(x_i, y_i)$  odpowiadające poszczególnym wartościom cech tworzą na płaszczyźnie tak zwany korelacyjny wykres rozrzutu. Na rysunku 1 przedstawiono wykresy źródłowe wartości realizacji pomiarów zawartości wolnego  $\text{CO}_2$  w wodzie w ujęciu Dąbrówka, wielkości opadów oraz korelacyjny wykres rozrzutu dla powyższych danych pomiarowych.

Zmienne losowe  $X$ ,  $Y$  mogą być związane ze sobą jawnym związkiem funkcyjnym, uwikłanym związkiem funkcyjnym lub być od siebie niezależne. Związek funkcyjny między zmiennymi losowymi wynika z praw wiążących wielkości fizyczne (rozpatrywane tutaj parametry złożowe) realizowane przez te zmienne. W praktyce najczęściej bada się liniową zależność zmiennych losowych reprezentowanych przez odpowiednie szeregi wartości cech. W przypadku takim miarą związku liniowego jest współczynnik korelacji  $r_{xy}$  Pearsona:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})\right)\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})\right)}} \quad (1)$$

gdzie:  $n$  – liczba próbek,  $x_i$ ,  $y_i$  - realizacje zmiennych losowych,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  - średnie dla odpowiednich realizacji zmiennych losowych.

Należy tu podkreślić fakt, iż w procesach złożonych, w których występują oddziaływania, które są trudno mierzalne oraz takie, których wpływu funkcyjnego nie można ustalić na podstawie rozwiązania odpowiedniego układu fizycznego stosowanie badań korelacyjnych może być obarczone znacznym błędem.



**Rysunek 1.** Wykres a) wyników badań zawartości CO<sub>2</sub> w wodzie dla ujęcia Dąbrówka, b) wyników badań meteorologicznych – opad, c) wykres korelacyjny rozrzutu cech: x – wielkość opadu, y – zawartości CO<sub>2</sub> w wodzie dla ujęcia Dąbrówka

**Figure 1.** The graph: a) of results of research of the content CO<sub>2</sub> in the water for the intake Dąbrówka, b) of results of meteorological research - the fall, c) the correlational graph of the scattering the guild: x-the magnitude of the fall, y-contents CO<sub>2</sub> in the water for Dąbrówka

## 2.2. Okienkowa metoda korelacyjna badań ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie

W przypadku badania zależności pomiędzy mierzonymi wielkościami charakteryzującymi procesy geologiczne, w tym w szczególności badania zależności pomiędzy parametrami złożowymi ujęć wód leczniczych stosowanie klasycznej metody korelacyjnej jest mocno ograniczone. Główne ograniczenia wynikają: z trudności w zakresie identyfikacji i pomiaru procesów zachodzących wewnątrz struktury hydrogeologicznej, z długiego czasu zachodzenia procesów geologicznych, z trudności pomiaru wpływu czynników antropogenicznych na przebieg procesów wewnątrz struktury oraz ich wpływu na wielkości mierzone. Poszukiwane są metody matematyczne pozwalające na rozpoznanie charakteru zmienności procesów, wzajemnego ich wpływu oraz ilościowego ich określenia. Najprostszym rozszerzeniem klasycznej metody korelacyjnej jest przyjęcie następujących założeń i przeprowadzenie badań w podciągach szeregu czasowego:

- 1) zależność funkcyjna pomiędzy zmiennymi losowymi  $X$ ,  $Y$  reprezentującymi mierzone wielkości jest nieznaną;
- 2) wpływ innych wielkości na badane ciągi realizacji zmiennych losowych jest nieznaną;
- 3) badania współzależności prowadzone są pomiędzy parami zmiennych losowych  $X$ ,  $Y$ ;
- 4) zależność funkcyjną pomiędzy zmiennymi  $X$  i  $Y$  można rozwinąć w szereg potęgowy w otoczeniu punktów analizy  $p_i$ ;
- 5) można wyznaczyć przedział (tzw. okno) realizacji zmiennej losowej  $X$ ,  $\Delta x$ , że badanie korelacji w przedziale spełnia warunki klasycznego badania korelacyjnego okolicy punktu  $p_i$ ;
- 6) w oknie rozwinięcia można wyliczyć współczynnik korelacji Pearsona  $r_{xy}(p_i, \Delta x)$ ;
- 7) współczynniki korelacji tworzą wektory zależne od wyboru punktu  $p_i$  oraz szerokości przedziałów  $\Delta x$  i określają tzw. okienkowy związek korelacyjny zmiennych.

Z punktu widzenia badania zmienności wielkości hydrogeologicznych takie podejście nie uwzględnia podstawowego faktu tj. czasowego przesunięcia pomiędzy zmiennymi  $X$ ,  $Y$ . Na istotne podkreślenie zasługuje tu fakt, iż przesunięcie czasowe pomiędzy mierzonymi wielkościami może mieć różną wartość, i wartość ta może zależeć nie tylko od porównywanych wielkość, lecz również od poszczególnych ujęć nawet w tej samej strukturze hydrogeologicznej. Do badania zależności wzajemnych pomiędzy wielkościami charakteryzującymi źródła wód leczniczych eksploatowanych zaproponowano metodę korelacji okienkowej z płynnymi przedziałami czasowymi. Metoda ta zaadaptowana do badań procesów zachodzących w złożach wód leczniczych zastosowana została przez autorów po raz pierwszy w trakcie prac badawczych nad ujęciami wód leczniczych w Szczawinie Zdroju. Istotą metody jest przyjęcie założeń od 1) – 7) uzupełnionych o niezależny wybór nie jednego przedziału  $\Delta x$ , lecz niezależnie pary przedziałów  $\Delta x(t_i)$ ,  $\Delta y(t_j)$  dla różnych chwil czasowych. Wyliczone dla każdej z par przedziałów współczynniki korelacji Pearsona  $r_{\Delta x(t_i)\Delta y(t_j)}(\Delta x(t_i), \Delta y(t_j))$ , tworzą macierz indeksowaną chwilami czasowymi  $t_i$ ,  $t_j$ . Wartości tak otrzymanych współczynników są miarą liniowej zależności korelacyjnej pomiędzy poszczególnymi przedziałami. Szerokość przedziałów  $\Delta x$

i  $\Delta y$  może być w ogólności różna, lecz aby można było do wyliczania wartości współczynnika korelacji zastosować zależność (1) konieczne jest, aby zawierały identyczną ilość punktów. Proces wyboru chwil czasowych do porównań  $t_i, t_j$  może również przebiegać według dowolnego algorytmu. W celu systematycznego zbadania najwygodniej jest realizować wybór kolejnych wartości  $t_i$ . Dla tak wyznaczonego przedziału  $\Delta x(t_i)$ , należy realizować wszystkie możliwe wybory przedziałów  $\{\Delta y(t_j)\}$  i wyznaczać kolejne wartości współczynników korelacji. Algorytm można zoptymalizować przez zapewnienie, aby przedziały nie powtarzały się. Otrzymane macierze współczynników korelacji okienkowej dla różnych wariantów wyboru szerokości przedziałów oraz chwil czasowych stanowią podstawę do wyboru obszarów o największej zgodności korelacyjnej. Pozwala to na wyznaczenie tabel największej zgodności a na ich podstawie ustalenie najbardziej prawdopodobnych przesunięć czasowych  $\Delta t$ . Porównanie zależności źródłowych może wskazać zgodność procesów tj. np. pobudzenia w przeszłości spowodowanego charakterystycznym zasileniem zbiornika i odpowiedzią przesuniętą w czasie np. w postaci zmiany wydajności.

### 3. Współzależności wielkości fizycznych w odniesieniu do źródeł wód leczniczych w Szczawnie Zdroju

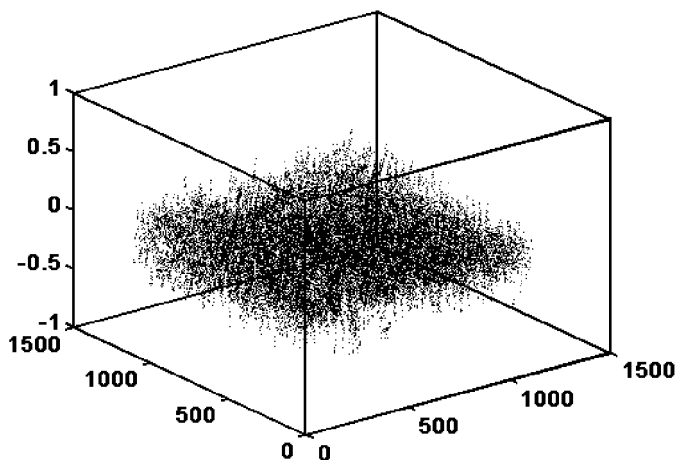
W ramach pracy przeprowadzono okienkowe badania korelacyjne z dynamicznie przesuwanym przedziałem czasu dla źródeł wód leczniczych w Szczawnie Zdroju. Przeprowadzono szczegółowe obliczenia numeryczne współczynników korelacji okienkowej dla 75 zestawów danych w każdym po 34969 okien obliczeniowych.

**Tabela 1.** Największe, co do wartości bezwzględnej współczynniki korelacji okienkowej dla zestawienia opad dzienny – zawartość CO<sub>2</sub> w wodzie w ujęciu Dąbrówka dla przedziałów czasu 720 dni z oknem 60 dni oraz jednostką iteracji obliczeń 10 dni

**Table 1.** The most important absolute values of the windowed correlation coefficients for daily rain fall-CO<sub>2</sub> density in water from intake Dąbrówka for 720 days time periods with 60 days with window and 10 days iteration

Lp.	Indeks początkowy danych w ciągu	Indeks końcowy danych w ciągu	Różnica indeksów	Różnica w dniach	Współczynnik $r_{xy}$
1	385.00000	853.00000	468	4680	-0.67830
2	385.00000	325.00000	-60	-600	-0.67402
3	391.00000	331.00000	-54	-540	-0.67350
4	397.00000	337.00000	-60	-600	-0.66586
5	391.00000	859.00000	468	4680	-0.65962
6	397.00000	865.00000	462	4620	-0.65712
7	403.00000	343.00000	-60	-600	-0.65272
8	295.00000	769.00000	474	4740	-0.64602
9	403.00000	871.00000	468	4680	-0.64366
10	409.00000	877.00000	468	4680	-0.64129





Rysunek 2. Rozkład współczynników korelacji okienkowej różnych przesunięć względnych czasu dla zależności przedstawionych na rysunkach 1a i 1b

Figure 2. The decay of coefficients of the correlation of fenestrate of different relative shifts of the time for dependences represented in figures 1a and 1b

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano zestaw 2 622 675 współczynników. Ze względu na ograniczoną objętość pracy przedstawiono rezultaty badań wzajemnej zależności opadu i zawartości dwutlenku węgla w wodzie z ujęcia Dąbrówka. Największe, co do wartości bezwzględnej współczynników korelacji okienkowej dla tego przypadku zestawiono w tabeli 1.

Porównując dane zestawione w tabeli 1 widoczne jest, iż największe współczynniki czasowej korelacji okienkowej są ujemne, co może świadczyć o związku liniowym z ujemnym współczynnikiem kierunkowym, czyli odwrotnej zależności pomiędzy zawartością wolnego dwutlenku węgla w wodzie leczniczej a ilością opadu atmosferycznego (rys. 2). Fakt ten może świadczyć o istnieniu mieszania się wód leczniczych z wodami zwykłymi w strefie drenażu. Powtarzająca się różnica indeksów wynosi 468, co odpowiada przesunięciu czasowemu 4 680 dni tj. około 13 lat.

## 4. Wnioski

W ramach pracy przedstawiono korelacyjną metodę okienkową z ruchomymi przedziałami czasu badań współzależności źródeł wód leczniczych. Przy wykorzystaniu opisanej metody przeprowadzono obliczenia w wyniku, których otrzymano 2 622 675 współczynników korelacji. Ze względu na ograniczoną objętość pracy zamieszczono wyniki porównań zależności opadu atmosferycznego oraz zawartości dwutlenku węgla w wodzie z ujęcia Dąbrówka w Szczawnie Zdroju. Uzyskane wyniki wskazują, że oddziaływanie opadu na zawartość  $\text{CO}_2$  jest przesunięte o 4680 dni. Uzyskane wyniki potwierdzają również fakt, iż

wzrost opadów w obszarze drenażu powoduje zmniejszenie zawartości dwutlenku węgla, którego efekt uwidacznia się na danych pomiarowych po upływie około 13 lat.

## Literatura

- Ciężkowski W. 1990: *Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich*. Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWr, nr 60, Wrocław, ser. 19.
- Ciężkowski W., Doktor S., Graniczny M., Kabat T., Liber-Madziarz E., Przylibski T., Teisseyre B., Wiśniewska M., Zuber A., 1996: *Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych*. Zał. 35. Złoże wód leczniczych Szczawna Zdroju. Arch. ZBU Zdroje, Wrocław (maszynopis).
- Liber A., Liber E., 2003a: *Analiza falkowa wydajności ujęć wód leczniczych w Łądku Zdroju*. Współczesne Problemy Hydrogeologii. Gdańsk. T.XI/1, 377-380.
- Liber A., Liber E., 2003b: *GRNN Modeling of Discharge of Curative Water Intakes in Szczawno Zdrój*. In.: AI-METH 2003. Methods of artificial intelligence. Gliwice, 5-7 November 2003. Gliwice, 77-78.
- Liber A., Liber E., 2003c: *Nowe metody badania wydajności ujęć eksploatowanych samoczynnie na przykładzie wód leczniczych w Sudetach*, Współczesne Problemy Hydrogeologii. Gdańsk, T.XI/1, 381-388.
- Liber A., Liber E., 2004: *Falkowe metody modelowania warunków hydrologicznych ujęć wód leczniczych z samowypływem*. Acta Universitatis Wratislaviensis No 2729, Hydrogeologia, Wrocław 2004, 149-160.
- Liber A., Liber E., 2005a: *Analiza wydajności ujęć wód z samowypływem przy użyciu liniowej indentyfikacji modelu ARMAX*. Górnictwo i geologia, T. 8. Oficyna Wydaw. PWroc., Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 113, Wrocław 2005, 129-134.
- Liber A., Liber E., 2005b: *Analiza wzajemnej współzależności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie przy użyciu wielopoziomowej dekompozycji falkowej*. Współczesne problemy hydrogeologii. T. XII. Toruń, 447-452.
- Liber-Madziarz E., 2001: *Zmienność wydajności wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich*. Praca doktorska. Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 3. Politechnika Wroclawska. Wrocław.