

## CHARAKTERYSTYKA OPRÓŻNIANIA ZBIORNIKA WÓD SZCELINOWYCH GŁĘBOKIEGO KRAŻENIA NA PRZYKŁADZIE ZŁOŻA WÓD TERMALNYCH ŁĄDKA-ZDROJU

### DEWATERING CHARACTERIZATION OF A DEEP CIRCULATION FISSURE WATER RESERVOIR EXEMPLIFIED BY THERMAL WATER DEPOSIT IN ŁĄDEK SPA

ELŻBIETA LIBER<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono możliwość wykorzystania zmodyfikowanej formuły Mailleta do opisu modelu opróżniania zbiornika wód podziemnych głębokiego krążenia na przykładzie złoża wód termalnych w Łądku-Zdroju. W wyniku przeprowadzonych wcześniej badań zmienności wydajności wykazano istnienie silnej więzi hydraulicznej pomiędzy ujęciami tego złoża. Na podstawie obliczeń oszacowano sumaryczne zasoby eksploatacyjne oraz potencjał zasobności złoża.

**Słowa kluczowe:** wody termalne, wody szczelinowe, zasoby wód podziemnych, źródło, Sudety.

**Abstract.** The paper presents the capability of utilization of the modified Maillet's formula in describing a model of emptying of a deep circulation groundwater reservoir, exemplified by thermal water deposit in Łądek Spa. As a result of previous researches of the discharge changes, the occurrence of a strong hydraulic connection between these thermal water intakes has been confirmed. Total admissible volume of water extracted from the intakes and potential of the resources of this deposit have also been calculated.

**Key words:** thermal waters, fissure waters, groundwater resources, spring, Sudetes.

## WSTĘP

Wody termalne występujące w Łądku-Zdroju są szczególnym rodzajem wód podziemnych, gdyż są wykorzystywane jako wody lecznicze przez Uzdrowisko Łądek-Długopole SA. Ze względu na swoje szczególne walory, takie jak stosunkowo niska mineralizacja oraz wysoka temperatura wody (20–45°C), mogą być wykorzystywane w balneologii i rekreacji na większą skalę niż dotychczas. W celu zwiększenia zasobów eksploatacyjnych w 1973 r. wykonano tu odwiert L-2. Obecnie suma zatwierdzonych zasobów eks-

ploatacyjnych dla sześciu ujęć wód termalnych wynosi ponad 16 dm<sup>3</sup>/s. Jednakże niezależnie od liczby nowych ujęć ilość wypływającej wody termalnej z jednego złoża jest ściśle ograniczona.

Zastosowanie zmodyfikowanej formuły Mailleta do opisu modelu opróżniania zbiornika wód termalnych Łądku-Zdroju umożliwi nie tylko opis tego zjawiska, ale może być wykorzystane do oceny minimalnej sumarycznej wydajności wszystkich ujęć, jaką można uzyskać z tego złoża.

---

<sup>1</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław;  
e-mail: elzbieta.liber@pwr.wroc.pl

## METODYKA BADAŃ

W miarę opróżniania zbiornika wód podziemnych, przy braku przez dłuższy czas jego zasilania (np. okres bezopadowy), wydajność źródła drenującego ten zbiornik będzie się obniżać. Zjawisko to nosi nazwę regresji wydajności źródła (rzadziej recesji lub wysychania). Powszechnie stosowanym równaniem regresji źródła, opisującym eksponentialną krzywą wydajności w funkcji czasu, jest zaproponowana w 1905 r. formuła Mailleta.

Analizy krzywych regresji, opartych na równaniu zaproponowanym przez Mailleta, dla wybranych źródeł i cieków, wykonywało wielu badaczy. Dostatecznie precyzyjnie oddaje kształt empirycznych krzywych regresji źródeł, choć wielu badaczy zaproponowało inne postacie równań lub konstrukcje krzywych składających się z odcinków o różnym współczynniku regresji. Do najważniejszych propozycji modyfikacji równań opisujących zależność zmiany wydajności w funkcji czasu należy zaliczyć równania według Coutagne'a, Burgera, Tisona, Forkasiewicza, Paloca, Mangina (vide Castany, 1967, 1972; Motyka i in., 1993).

Większość modyfikacji równania Mailleta, a także badań wykorzystujących te równania, dotyczy zasilania rzek i cieków ze zbiorników wód podziemnych w okresach bezopadowych. W celu scharakteryzowania środowiska zasilającego źródła wód zwykłych w obszarach górskich analizę krzywych regresji wykorzystywano m.in. dla źródeł warstwowo-szczelinowych (np. Kowalski, 1980), dla źródeł krasowych (np. Barczyk i in., 1999) oraz dla źródeł szczelinowych (np. Marszałek, 1989; Staško, Tarka, 1994).

Równanie krzywej regresji zależy w dużym stopniu od typu skały zbiornikowej i charakteru krążenia wody. Autorka po raz pierwszy w 2001 r. wykorzystywała zmodyfikowaną formułę Mailleta do opisu zjawiska opróżniania zbiornika wód podziemnych głębokiego krążenia. Na podstawie przeprowadzonych badań zmienności wydajności ujęć wód termalnych wykazała, że najlepsze dopasowanie krzywej wydajności w funkcji czasu dla tego typu złoża otrzymuje się po uwzględnieniu w równaniu tzw. dopływu podstawowego  $q$ .

Tak zmodyfikowane równanie Mailleta przyjmuje następującą postać (vide Catany, 1967, 1972):

$$Q_t = (Q_0 - q) \cdot e^{-\alpha t} + q \quad [1]$$

gdzie:

- $Q_t$  – wydajność źródła po czasie  $t$  [ $m^3/s$ ];
- $Q_0$  – wydajność źródła na początku opróżniania zbiornika, w chwili  $t_0$ , [ $m^3/s$ ];
- $t$  – czas (w dobach), po którym wydajność zmniejsza się od  $Q_0$  do  $Q_t$ ;
- $e$  – podstawa logarytmu naturalnego;
- $\alpha$  – współczynnik regresji źródła;
- $q$  – dopływ podstawowy [ $m^3/s$ ].

Na podstawie powyższego równania z danych pomiarowych wydajności źródła  $Q_0$  na początku opróżniania zbiornika wód podziemnych i  $Q_t$  po czasie  $t$ , po dodatkowym uwzględnieniu różnych możliwych wartości dopływu podstawowego  $q$ , można wyznaczyć współczynnik regresji  $\alpha$ , według wzoru wynikającego z przekształcenia równania [1]:

$$\alpha = \frac{\ln(Q_0 - q) - \ln(Q_t - q)}{t} \quad [2]$$

gdzie oznaczenia jak w równaniu [1].

Na podstawie wyznaczonej wartości współczynnika regresji źródła  $\alpha$  oraz odpowiadającej wydajności  $Q_0$  na początku okresu regresji można dodatkowo określić potencjał zasobności  $W$ , który wyraża objętość zasilającej źródło wody nagromadzonej w warstwie wodonośnej w chwili  $t_0$  przy wydajności źródła  $Q_0$ :

$$W = \frac{Q_0}{\alpha} \quad [3]$$

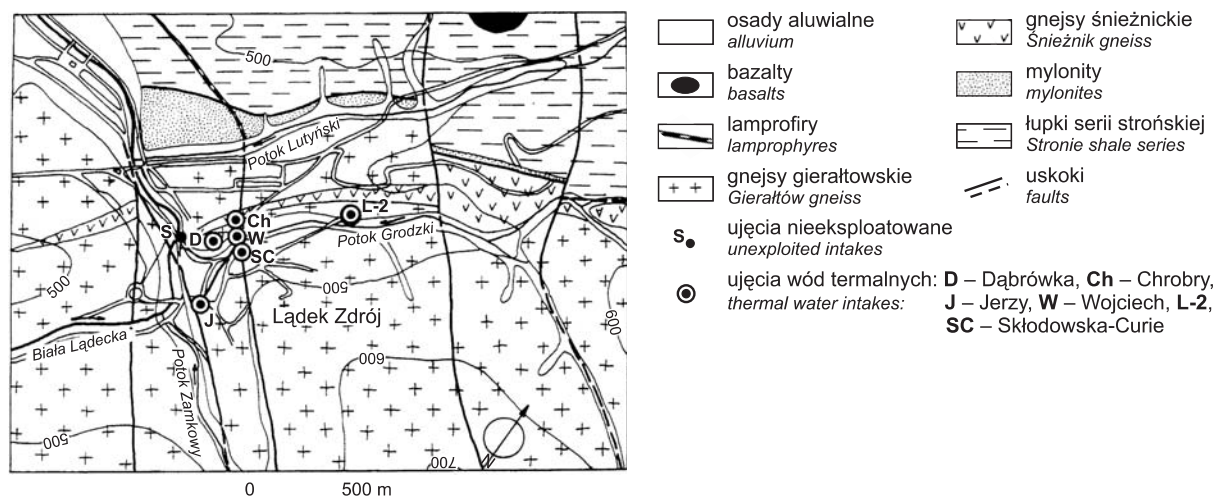
gdzie oznaczenia jak w równaniu [1].

## ZARYS WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Złoże wód termalnych Łądka-Zdroju znajduje się w obrębie metamorfiku Łądka-Śnieżnika, najdalej na wschód położonej jednostce Sudetów Środkowych. W budowie geologicznej tego złoża główną rolę odgrywają skały krystaliczne wieku proterozoiczno-paleozoicznego, zaliczone do następujących zespołów skalnych: łupkowej serii strońskiej, gnejsów gierałtowskich oraz gnejsów śnieżnickich. Występują tu również żyły lamprofirowe i kwarcytowe wieku karbońskiego oraz plejstocenijskie żyły i kopuły bazaltowe. Osady holocenijskie to głównie zwiertzeliny i utwory rzeczne, tworzące pokrywę o miąższości od kilku do dwudziestu metrów. Na ob-

szarze Łądka wyróżnia się dwa antyklinoria, Gierałtowa i Radochowa, przedzielone synklinorium łądecko-trawińskim, które są pocięte uskokami. Sieć tych uskoków jest szczególnie gęsta na obszarze Łądka-Zdroju (fig. 1). Przebieg uskoków poprzecznych zgodny jest z kierunkiem NW-SE, zaś uskok podłużny Łądka-Zdroju stanowi kontakt łupków łuszczkowych synklinorium z gnejsami antyklinorium Gierałtowa (Gierwielanec, 1970, 1986; Frąckiewicz, Teisseyre, 1973).

Z uskokiem Łądka-Zdroju Ciężkowski (1980) wiąże wyprowadzanie wód termalnych z głębi. Naturalne wypływy wód w postaci źródeł związane są z uskokiemi poprzecznymi



**Fig. 1.** Ujęcia wód termalnych Łądeka-Zdroju na tle schematycznej budowy geologicznej (wg Gierwielanica, 1970)

Thermal water intakes at Łądek Spa against a simplified sketch of geological structure (after Gierwielanec, 1970)

i pojawiają się w miejscach krzyżowania się stref tektonicznych o kierunkach SW–NE, NW–SE i N–S, o bardzo dużym nachyleniu.

Oprócz termalnych wód głębokiego krążenia występują tutaj wody zwykłe, które gromadzą osady czwartorzędowe, oraz wody szczelinowe płytkiego krążenia, związane ze strefą szczelinowatości egzogenicznej w skałach krystalicznych podłoża, sięgającą do głębokości około 30 m. Poniżej tej strefy krążenie wód związane jest wyłącznie ze strefami spękań tektonicznych.

Wody lecznicze Łądeka-Zdroju są to termalne wody niskomineralizowane, radocenne, fluorkowe, siarczkowe. Utworami wodonośnymi dla tych wód są różnie wykształcone gnejsy gieraltowskie. Są to wody szczelinowe głębokiego krążenia. W obrębie złoża znajduje się sześć samowypływów wód termalnych. Są to obudowane naturalne źródła: Jerzy, Wojciech, Skłodowska-Curie, Dąbrówka, Chrobry oraz jeden głęboki odwiert L-2 (700,3 m). Eksploatację oraz obserwacje tych ujęć prowadzi Uzdrawiskowy Zakład Górniczy Uzdrawiska Łądek-Długopole SA.

## DRENAŻ WÓD TERMALNYCH ŁĄDEKA-ZDROJU

Na podstawie bezpośrednich obserwacji reakcji ujęć na zmiany warunków eksploatacji oraz modelowania zmienności ich wydajności wykazano istnienie silnych więzi hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi ujęciami wód termalnych Łądeka-Zdroju (Liber, 1997, 2001, 2007; Liber, Liber, 2003a, b, 2005). Wskazuje to, że wszystkie ujęcia wód leczniczych Łądeka zasilane są wodą z jednego złoża szczelinowego bardzo głębokiego krążenia, stąd sumaryczna ilość wody naturalnie wypływającej ze złoża powinna być prawie stała.

Określony na podstawie badań izotopowych wiek wód leczniczych Łądeka sięga do 9000 lat. Wody te nie zawierają domieszek wód bardzo młodych (Zuber i in., 1993, 1995; Ciężkowski i in., 1996). Badania izotopowe potwierdziły również, wyznaczony przez Ciężkowskiego (1980) obszar zasilania dla wód termalnych Łądeka, obejmujący Góry Białskie wraz z południową częścią Gór Złotych. Po infiltracji w obszarze zasilania wody przepływają ku NW, w kierunku uzdrowiska, dużymi strefami dyslokacyjnymi o kierunku sudeckim. Przepływ ten odbywa się na głębokościach sięgających 2000–2500 m.

Na podstawie przeprowadzonych badań dotyczących zmienności wydajności ujęć wód leczniczych, zgodnych również z innymi wynikami, złożę wód termalnych Łądeka-Zdroju zaliczono do typu złoża szczelinowego bardzo głębokiego krążenia (Liber, 2001). Wypływy takich wód podziemnych związane są ze strefami głębokich rozłamów tektonicznych, wzdłuż których tworzą się anomalie hydrogeotermalne.

Suma wydajności wszystkich płytkich ujęć wód termalnych Łądeka-Zdroju do 1973 r. była stała i wynosiła około 9,5 dm<sup>3</sup>/s (Ciężkowski, 1980). W celu zwiększenia zasobów eksploatacyjnych w 1973 r. wykonano nowe głębokie ujęcie wód termalnych, L-2. Rozpoczęta w 1976 r. eksploatacja tego otworu spowodowała wyraźny spadek wydajności wszystkich płytkich ujęć wód termalnych. Rozpatrując sumaryczną wydajność ujęć zaznacza się wyraźny eksponentialny charakter jej obniżania się.

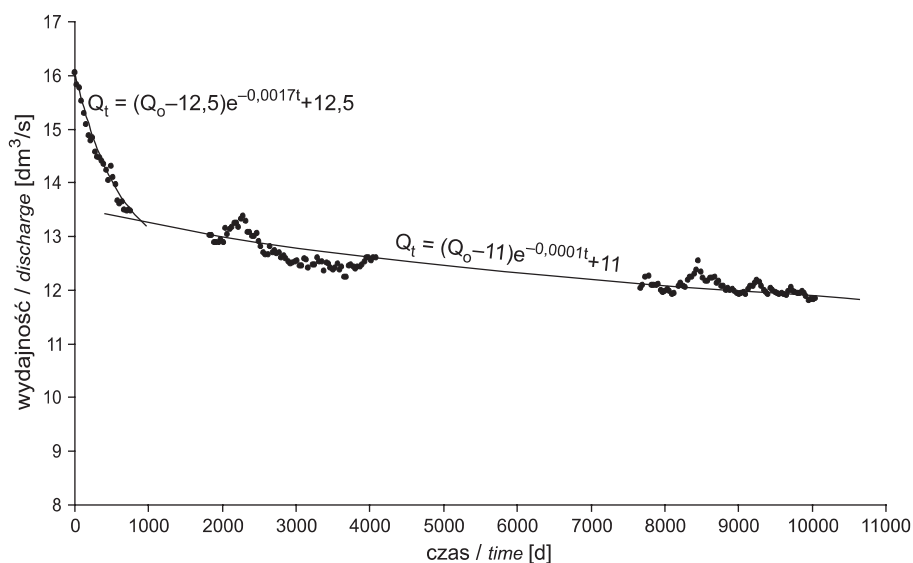


Fig. 2. Krzywe regresji sumy wydajności ujęć wód termalnych w Łądku-Zdroju

Regression curves of total discharge of thermal water intakes in Łądek Spa

Na podstawie wyników obserwacji stacjonarnych prowadzonych przez Uzdrowski Zakład Górniczy z 27 miesięcy eksploatacji Ciężkowski (1980) oszacował ustalenie się sumarycznej wydajności wszystkich ujęć na poziomie  $12,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Obecnie dysponowano już wynikami obserwacji stacjonarnych z 28 lat wspólnej eksploatacji źródeł i odwiertu L-2. Na podstawie rozpoznania historii eksploatacji i po weryfikacji danych okazało się, że sumaryczną wydajność ujęć obliczyć można tylko dla trzech okresów obserwacji: kwiecień 1976 – maj 1978, kwiecień 1981 – czerwiec 1987 oraz kwiecień 1997 – styczeń 2004 (fig. 2). Wyniki z lat 1979–1980 nie były uwzględnione w badaniach, gdyż w okresie tym prowadzono niekontrolowaną eksploatację ujęcia wód zwykłych w odwiercie L-1, która wywarła znaczny wpływ na wydajności prawie wszystkich ujęć wód termalnych Łądku-Zdroju. W latach 1988–1996 natomiast nie była badana wydajność ujęcia Wojciech, ze względu na remont budynku, w którym się ono znajduje.

Zmiany te dla sumy wydajności ujęć wód termalnych opisać można równaniem krzywej regresji Mailleta. W przypadku Łądku-Zdroju lepsze dopasowanie tej krzywej do rzeczywistych zmian wydajności w czasie otrzymano po uwzględnieniu dopływu podstawowego  $q$  (wzór 1). Dopływ ten określa wartość graniczną, która określa sumaryczną wydajność wszystkich ujęć, z jaką można eksploatować złoża. Wartość ta może być oszacowanymi w ten sposób sumarycznymi zasobami eksploatacyjnymi dla rozpatrywanych ujęć.

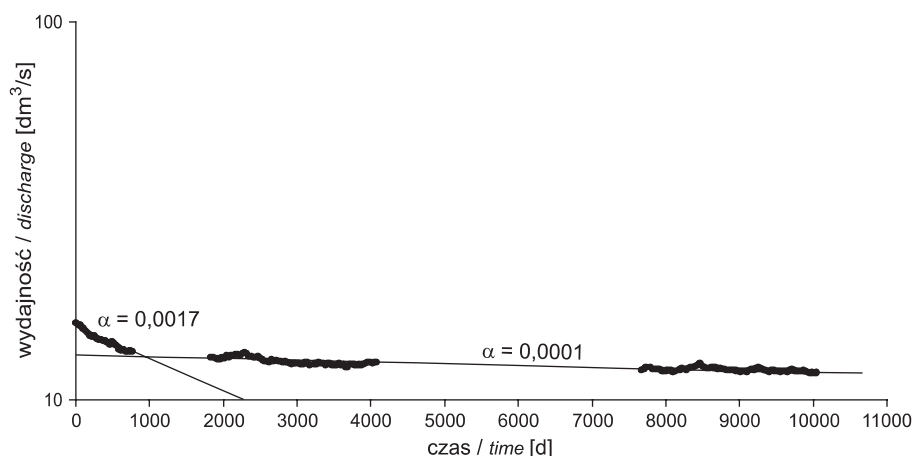
Wykres zmian wydajności w czasie, na którym oś wydajności sporządzona jest w skali logarytmicznej, przyjmie postać tzw. prostej reprezentatywnej dla równania krzywej regresji. Poprzez wstawianie kolejnych wartości zakładanego dopływu podstawowego do równania [1] uzyskano proste najlepiej dopasowujące się do rzeczywistych pomiarów wy-

dajności. W wyniku przeprowadzonych obliczeń stwierdzono istnienie wyraźnej dwudzielności procesu opróżniania złoża, scharakteryzowanej przez dwie proste reprezentatywne o różnych kątach nachylenia, określonych różnymi współczynnikami regresji (fig. 3).

Pierwsza prosta, bardziej stroma, opisana przez współczynnik regresji równy  $0,0017$ , obrazuje początkowy okres opróżniania złoża. Związany jest on ze znacznym i szybkim spadkiem wydajności wszystkich ujęć wód termalnych, trwającym od początku eksploatacji otworu L-2 w 1976 r. do 1978 r. (od 0 do 761 doby). Początkowy duży wypływ wody z ujęcia L-2 (ok.  $8 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) oraz szybki spadek sumy wydajności wszystkich ujęć wód termalnych (od  $16$  do  $13,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) świadczą o opróżnieniu zbiornika wód o niezbyt dużej objętości, ale o większej przepuszczalności. W skałach krystaliniku Łądku-Śnieżnika mogą to być strefy większej szczelinyowatości, związanej ze strefami uskokowymi lub strefami szczelinyowatości wietrzeniowej (dochodzącej do 30 m).

Druga prosta o niewielkim nachyleniu, określona przez współczynnik regresji równy  $0,0001$ , charakteryzuje powolny, niewielki spadek wydajności badanych ujęć, trwający od kwietnia 1981 do 2004 r. (od 1800 do 10100 doby), związany z okresem stabilizującego się charakteru wypływu wód termalnych. Wyznaczona krzywa regresji, opisująca ostateczny model opróżniania bardzo głębokiego złoża wód szczelinyowych Łądku-Zdroju, wskazuje, że stabilizacja sumarycznej wydajności wód nastąpi przy wartości  $11 \text{ dm}^3/\text{s}$ .

Ważnym stwierdzeniem stąd wynikającym jest ściśle ograniczona ilość wypływającej wody termalnej z jednego złoża niezależnie od liczby ujęć, gdyż wykonanie nowego głębokiego ujęcia L-2 w Łądku Zdroju spowodowało ostatecznie zwiększenie średniej sumy wydajności wszystkich ujęć wód termalnych tylko o  $1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ , tj. o ok. 16%. Obecna średnia wydajność badanych ujęć wynosi około  $11,9 \text{ dm}^3/\text{s}$  i zbliża się do wyznaczonego dopływu podstawowego.



**Fig. 3. Proste reprezentatywne dla krzywych regresji sumy wydajności ujęć wód termalnych w Łądku-Zdroju**

Representative straight lines for regression curves of total discharge of thermal water intakes in Łądek Spa

Na podstawie wyznaczonych wartości współczynników regresji  $\alpha$  oraz odpowiadającej im wydajności ujęć  $Q_0$  na początku okresu regresji obliczono dodatkowo (wzór 3) potencjał zasobności  $W$ , który określa ilość wody nagromadzonej w wodonoścu na początku jego opróżniania, a zgromadzoną powyżej poziomu drenażu. Dla początkowego okresu opróżniania złoża, przy  $\alpha = 0,0017$ , obliczony potencjał zasobności wynosi  $182\,778\text{ m}^3$ , zaś dla początku powolnego

okresu spadku wydajności, obserwowanego od 1981 r., przy  $\alpha = 0,0001$ , potencjał zasobności wynosi  $1\,741\,528\text{ m}^3$ . Obliczona więc pojemność wodonośca powyżej poziomu drenażu na początku procesu opróżniania stanowi niewielką część (kilkanaście %) pojemności całego złoża wód termalnych Łądku-Zdroju, oszacowanego na podstawie badań izotopowych na około  $1,0\text{--}1,6 \times 10^9\text{ m}^3$  (Zuber i in., 1995).

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono możliwość wykorzystania zmodyfikowanej formuły Mailleta do opisu modelu opróżniania zbiornika wód szczelinowych głębokiego krążenia. Pomimo dość powszechnego stosowania zmodyfikowanych równań regresji źródła do opisu charakterystyki środowiska zasilającego źródła zwykłych wód płytkiego krążenia, dotychczas nie zastosowano tej metody dla złóż wód termalnych typu szczelinowego bardzo głębokiego krążenia.

Istnienie silnych powiązań hydraulicznych między poszczególnymi źródłami wód termalnych Łądku-Zdroju oraz zasilanie ich z jednego wspólnego zbiornika wód podziemnych umożliwia rozpatrywanie sumarycznej ilości wody naturalnie wypływającej ze wszystkich ujęć w złożu. W takim przypadku oszacowana na podstawie krzywej regresji minimalna sumaryczna wydajność może stanowić sumaryczne zasoby eksploatacyjne rozpatrywanych ujęć.

Przeprowadzone badania wykazały istnienie wyraźnej dwudzielności procesu opróżniania złoża wód termalnych Łądku-Zdroju. Wyznaczona krzywa regresji, związana z okresem stabilizującego się charakteru drenażu wód termalnych, opisuje model opróżniania bardzo głębokiego złoża wód szczelinowych, dla którego minimalną sumaryczną wydajność ujęć oszacowano na  $11\text{ dm}^3/\text{s}$ , a potencjał zasobności zbiornika powyżej poziomu drenażu wynosi  $1\,741\,528\text{ m}^3$ .

Przedstawione rozpoznanie charakteru opróżniania zbiornika eksploatowanych wód termalnych Łądku-Zdroju jest nie tylko próbą przedstawienia modelu tego zjawiska, ale może być wykorzystane do oceny sumarycznych zasobów eksploatacyjnych tego złoża.

## LITERATURA

- BARCZYK G., HUMNICKI W., ŻURAWSKA G., 1999 – Selected hydrogeological parameters calculated for Tatric values springs. *Geol. Quart.*, **43**, 4: 537–545.
- CASTANY G., 1967 – Taité pratique des eaux souterraines. Wyd. Dunod, Paris.
- CASTANY G., 1972 – Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- CIEŻKOWSKI W., 1980 – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łąka Zdroju. *Probl. Uzdrow.*, 4:125–193.
- CIEŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M. i in., 1996 – Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. Zał. 20. Złoże wód leczniczych Łąka Zdroju. Arch. ZBU „Zdroje”, Wrocław (maszynopis).
- FRAŃKIEWICZ W., TEISSEYRE H., 1973 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów, 1 : 25 000, ark. Międzygórze z Objasnieniami (1977). Wyd. Geol., Warszawa.
- GIERWIELANIEC J., 1970 – Z geologii Łąka Zdroju. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWrocl.*, **5**.
- GIERWIELANIEC J., 1986 – Wody szczelinowe krystalicznych masywów skalnych Sudetów Środkowych i Podsudecia. W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWrocl.*, **49**, seria *Konf.*, 21: 53–58.
- KOWALSKI S., 1980 – Charakterystyka hydrogeologiczna źródeł Gór Stołowych. *Kwart. Geol.*, **24**, 4: 885–904.
- LIBER E., 1997 – Charakterystyka wydajności ujęć wód termalnych Łąka-Zdroju. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 8: 357–360. Wyd. WIND, Wrocław.
- LIBER E., 2001 – Zmienność wydajności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich. Praca doktorska. Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 3, PWrocl., Wrocław.
- LIBER E., 2007 – Współdziałanie pomiędzy źródłami wód termalnych w Łąku Zdroju. W: Górnictwo i geologia, t. 9. *Pr. Nauk. Inst. Górn. PWrocl.*, **33**, seria 118: 81–88.
- LIBER E., LIBER A., 2003a – Modelowanie wydajności ujęć termalnych wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie w Łąku Zdroju przy zastosowaniu sieci neuronowych. W: Modelowanie i symulacja komputerowa w technice: 111–114. Łódź.
- LIBER E., LIBER A., 2003b – Analiza falkowa wydajności ujęć wód leczniczych w Łąku Zdroju. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 11, cz. 1: 377–380. Gdańsk.
- LIBER E., LIBER A., 2005 – Zmiany wydajności ujęć wód leczniczych w Łąku Zdroju i Szczawnie Zdroju w świetle nowych metod badań. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 12: 453–460. UMK, Toruń.
- MARSZAŁEK H., 1989 – Hydrogeologia źródeł w zlewni Kamiennej. W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWrocl.*, **58**, seria *Konf.*, 29: 107–115. Wrocław.
- MOTYKA J., PULIDO-BOSCH A., PULINA M., 1993 – Wybrane problemy hydrologii i hydrogeologii krasowej w skałach węglanowych. *Kras i Speleologia*, **7**: 7–19.
- STAŚKO S., TARKA R., 1994 – Obliczanie zasobów wód podziemnych w obszarach górskich na przykładzie badań wybranych zlewni Sudetów. *Zesz. Nauk. Akad. Roln. we Wrocławiu*, 248: 279–286.
- ZUBER A., OSENBRÜK K., WEISE S.M., GRABCZAK J., CIEŻKOWSKI W., 1993 – Gazy szlachetne i ich stosunki izotopowe w wodach termalnych Łąka-Zdroju i Cieplic Śląskich-Zdroju. W: Współczesne problemy hydrogeologii, t. 6:151–156. Wyd. Sudety, Wrocław.
- ZUBER A., WEISE S.M., OSENBRÜK K., GRABCZAK J., CIEŻKOWSKI W., 1995 – Age and recharge area of thermal waters in Łądek Spa (Sudeten, Poland) deduced from environmental isotope and noble gas data. *Journal of Hydrology*, **167**: 327–349.

## SUMMARY

The paper presents the capability of application of the modified Maillet's formula for modelling of dewatering of deep circulation groundwater reservoir, exemplified by thermal water deposit in Łądek Spa. This modified regression equation has generally been applied in modelling of recharging environment of shallow circulation groundwater springs. However, it has not been used so far, for fissure and thermal water deposits of deep circulation groundwater.

The total amount of artesian flow (discharge) from all intakes in the deposit was taken into calculation, because, the existence of a hydraulic connection between these thermal water springs and a single common groundwater reservoir has been discovered as a result of earlier researches. In this case, the minimal total discharge estimated from the re-

gression curve can be the basis for estimation of total admissible volume of water extracted from these intakes.

The occurrence of a two-part process of dewatering of thermal water deposit in Łądek Spa has been proved from these investigations. The regression curve has been obtained for the period of thermal water drainage stabilization, describing dewatering of the deep circulation fissure water reservoir. For this curve, the estimated value of minimal total discharge is 11 dm<sup>3</sup>/s, and the value of resources potential over the drainage level is 1 741 528 m<sup>3</sup>.

Such a model of water reservoir dewatering of thermal water in Łądek Spa describes not only this process, but also can be used for estimation of total admissible volume of water extracted from intakes.