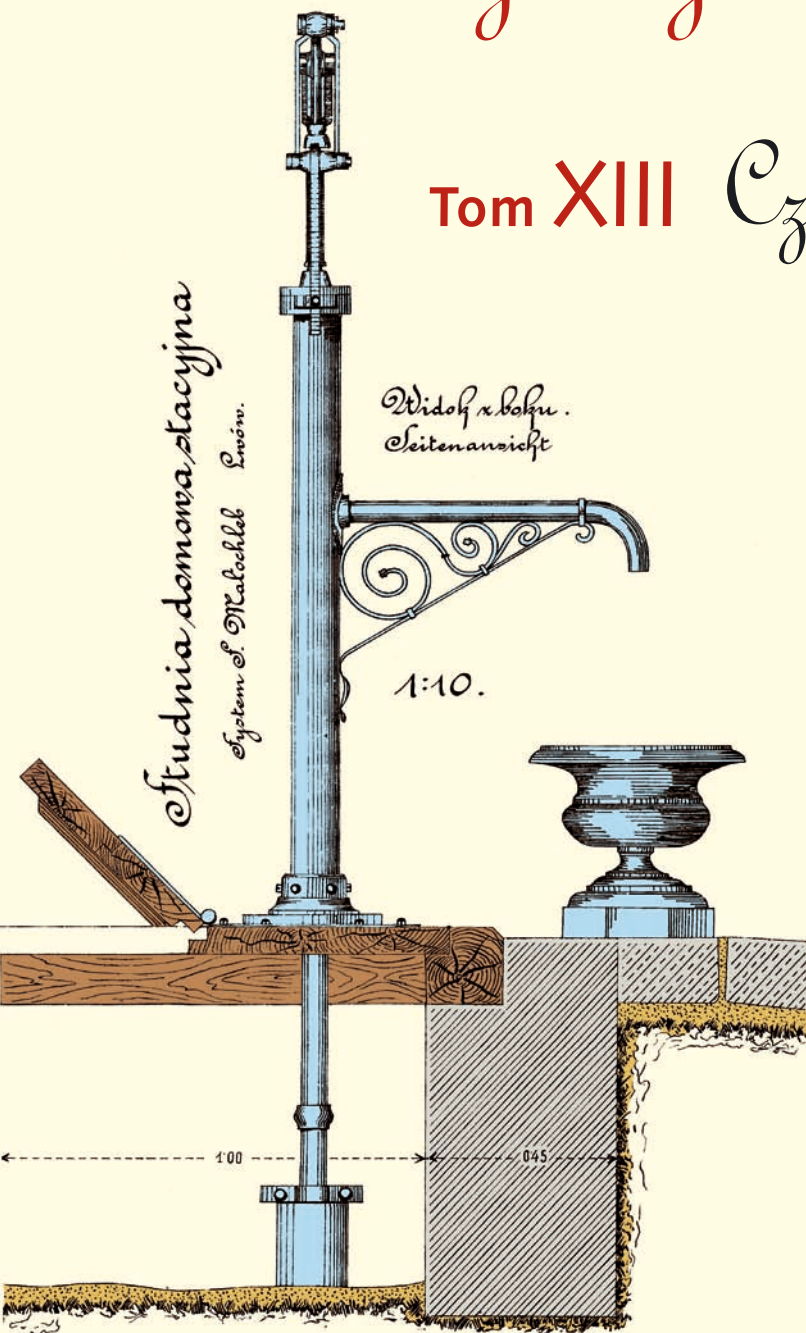


# Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





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 Staško  
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

Marek Kachnic

**Współczynnik efektywności barometrycznej  
w piezometrze stacji bazowej w Koniczynie  
k. Torunia**

**Barometric Efficiency in Piezometer of Base Station  
in Koniczynka near Toruń (Poland)**

**Słowa kluczowe**

współczynnik efektywności barometrycznej, Stacja Bazowa  
Koniczynka

**Key words**

barometric efficiency, Base Station Koniczynka

**Abstract**

In wells or piezometers penetrating confined or unconfined aquifers, the water levels are continuously changing as the atmospheric pressure changes. By comparing the atmospheric changes, expressed in terms of a column of water, with the actual changes in the water levels observed during the pre-test period, it is possible to calculate the barometric efficiency of the aquifer. In this paper there was calculated barometric efficiency of piezometer in a Base Station of the Integrated Monitoring of the Natural Environment in Koniczynka near Toruń in Poland.

W badawczych otworach hydrogeologicznych poziom wód podziemnych zmienia się stale w nawiązaniu do zmian ciśnienia atmosferycznego (Toll, Rasmussen, 2007). Wzrost ciśnienia atmosferycznego kompensowany jest przez opadanie zwierciadła wody, natomiast spadek ciśnienia atmosferycznego kompensowany jest przez podnoszenie się zwierciadła wody podziemnej. Przez porównanie zmian ciśnienia atmosferycznego, wyrażonego jako słup wody, ze zmianami położenia zwierciadła wody, możliwe jest obliczenie współczynnika efektywności barometrycznej warstwy wodonośnej (Rasmussen, Crawford, 1997).

Współczynnik efektywności barometrycznej (EB) jest parametrem opisującym reakcję warstwy wodonośnej na zmiany ciśnienia atmosferycznego. Wartość tego współczynnika zwykle zmienia się między 0.2 a 0.75 (Kruseman, de Ridder, 1991). Efektywność barometryczna jest definiowana jako iloraz zmian ciśnienia wody w otworze hydrogeologicznym ( $\Delta H$ ) i zmian ciśnienia atmosferycznego ( $\Delta P$ )

$$EB = \frac{\Delta H \cdot \gamma}{\Delta P} \quad [-]$$

gdzie:  $\Delta H$  – zmiany w położeniu zwierciadła wody w określonym przedziale czasowym [m];  $\Delta P$  – zmiany ciśnienia atmosferycznego dla tego samego przedziału czasowego [Pa];  $\gamma$  – ciężar właściwy wody [ $\text{N/m}^3$ ], definiowany jako iloczyn  $\zeta \cdot g$ , gdzie:  $\zeta$  – gęstość wody w [ $\text{Kg/m}^3$ ] (gęstość wód o mineralizacji poniżej 1[g/L] jest zależna głównie od temperatury, w  $10^\circ\text{C}$  wynosi ona 9997 [ $\text{N/m}^3$ ], czyli 999,7 [ $\text{Kg/m}^3$ ]),  $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $\text{m/s}^2$ ].

## Stacja Bazowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu

Siedziba Stacji Bazowej ZMŚP znajduje się w Koniczynie, w Ośrodku Badawczym Biologii Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (rys. 1). Większość badań jest prowadzona na gruntach Rolniczego Zakładu Doświadczalnego UMK w Toruniu (zob.: <http://wikimapia.org/#y=53080470&x=18684048&z=16&l=28&m=h&v=2>). Głównym celem badawczym Stacji Bazowej jest ocena stanu, kierunków zagrożeń i ochrony geosystemu poprzez stały monitoring jego fizycznych i biotycznych elementów. Stacja funkcjonuje od 1992 roku w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska (PIOŚ, 1992) jako jedna z siedmiu wytypowanych Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (Kostrzewski, 1998).

Zgodnie z założeniami programu ZMŚP, zlewnia rzeczna (geosystem) jest podstawową jednostką przestrzenną. Stacja Bazowa w Koniczynie obejmuje część zlewni Strugi Toruńskiej położonej na obszarze Wysoczyzny Chełmińskiej (rys. 1).

Zlewnię stanowi płaska morena denną powstała po zlodowaceniu wisły, fazy poznańskiej rozcięta pasem równiny wód roztopowych (Wójcik, Celmer, 1998). Zakres pomiarów elementów środowiska abiotycznego w Stacji Bazowej przedstawia tabela 1 (za: Wójcik, Marciniak, 1996, zmienione i zaktualizowane).



**Rysunek 1.** Położenie piezometru Stacji Bazowej w Koniczynce  
**Figure 1.** Location of the piezometer of Base Station in Koniczynka

## Piezometr Stacji Bazowej

Obserwacje głębokości zalegania zwierciadła wód podziemnych a także analizy ich chemizmu prowadzone są w piezometrze zlokalizowanym przy ogrodzeniu ogródka meteorologicznego Stacji Bazowej (lokalizacja piezometru w ukł. PUWG 1992:  $X = 478838$ ,  $Y = 579518$ ). Piezometr ma głębokość 16 m i został wykonany w roku 1995. Filtr piezometru ujmuje pierwszą od powierzchni warstwę wodonośną, niewykorzystywaną przez okoliczne studnie i ujęcia. Warstwę przewiercono w przelocie od 14.4 do 15.15 m. Filtr zabudowano w piaskach średnio i drobnoziarnistych. Piezometr nie jest zarejestrowany w Banku HYDRO, nie został również zamieszczony na MhP ark. Toruń (Pomianowska, 2000). Jak wynika z rozpoznania geologicznego, poniżej zafiltrowanej warstwy wodonośnej stwierdza się dwie warstwy wodonośne rozdzielone warstwami osadów słaboprzepuszczalnych (głównie osadami glin morenowych). Niżej zalegające warstwy wodonośne spełniają kryteria Głównego Poziomu Użytkowego i Pierwszego Poziomu Wodonośnego wg klasyfikacji Państwowego Instytutu Geologicznego.

**Tabela 1.** Zakres pomiarów elementów środowiska abiotycznego w Stacji Bazowej  
**Table 1.** Measuring range of abiotic environment in Base Station in Koniczynka

Mierzony parametr	Częstość pomiarów	Metody pomiarowo-analityczne, przyrząd pomiarowy
Obserwacje meteorologiczne	1 × godz.	wg instr. IMGW, stacja automatyczna Vaisala
<b>Chemizm opadu atmosferycznego</b>		
przewodnictwo właściwe, pH, chemizm opadów atmosferycznych – zakres podstawowy	po opadzie 1 × miesiąc	metoda konduktometryczna i pH-metr, laborat. Instytutu Ochrony Środowiska
<b>Powietrze atmosferyczne</b>		
pomiar SO <sub>2</sub> , pomiar NO <sub>2</sub>	co 30 min. 1 × miesiąc	półautomatyczny pomiar metodą kulometryczną przy użyciu analizatora emisji ANIM-86  SO <sub>2</sub> mierzone jest również metodą pasywną zgodnie z metodyką firmy PROPAGATOR z Krakowa
pył zawieszony PM10	1 × dobę	
<b>Gleba</b>		
glebowa pow. testowa	1 × 5 lat	Zakład Gleboznawstwa UMK w Toruniu Akademia Rolnicza w Poznaniu
<b>Wody podziemne</b>		
głębokość zwierciadła wody-piezometr	1 × tydzień	gwizdek hydrogeologiczny
przewodnictwo, pH, chlorki	1 × tydzień	konduktometr i pH-metr
chemizm wody zakres rozszerzony	1 × rok	laboratorium PIG Warszawa
<b>Wody powierzchniowe (Struga Toruńska)</b>		
stany wody, przepływ	1 × dobę	limnigraf, młynek hydrometryczny
temperatura, przewodność, pH,		termometr elektryczny, konduktometr, pH-metr
chemizm wody: (O <sub>2</sub> , BZT <sub>5</sub> , CHZT <sub>Mn</sub> , CHZT <sub>Cr</sub> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , zawiesina <sub>og</sub> , zasadowść <sub>og</sub> , Ca, Mg, N-NH <sub>4</sub> , N-NO <sub>3</sub> , N-NO <sub>2</sub> , N <sub>kjel</sub> , N <sub>og</sub> , P, Zn, Mn, Cu, Pb, fenole lotne, sub-eks, M-Coli, Fe <sub>og</sub> , F <sub>og</sub> , Chr <sub>og</sub> )	1 × m-c	metodyka obowiązująca w lab. PIOŚ
<b>Wody drenarskie</b>		
odpływ i temperatura wody	1 × dobę	przelewowa- zastawka Thomsona, termometr
przewodność właściwa		konduktometr
odczyn pH		pH-metr

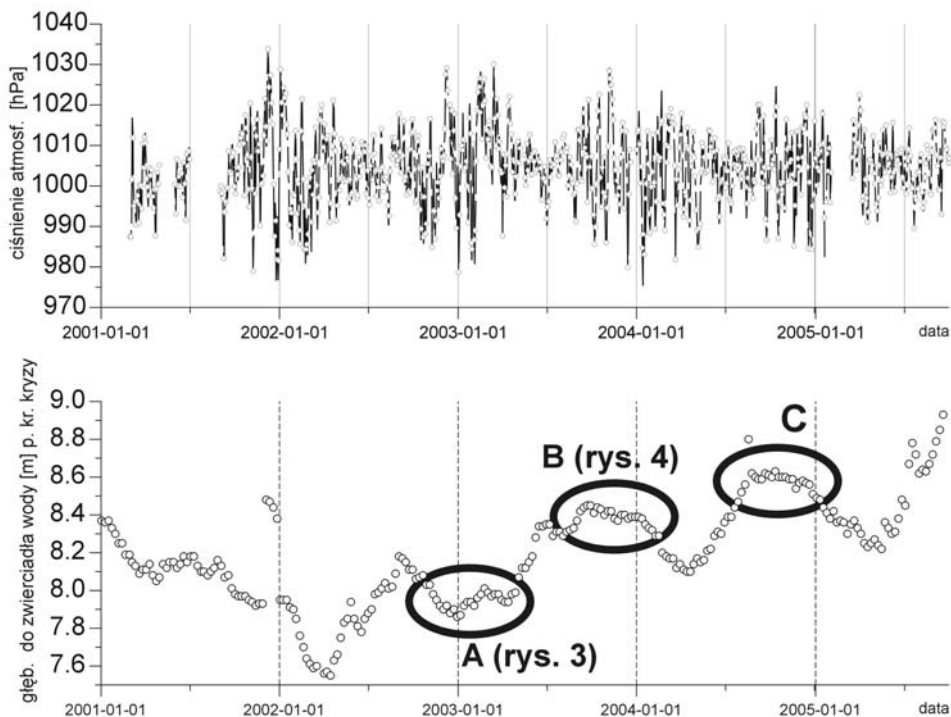
Głębokość zalegania zwierciadła wody mierzona jest od listopada 1995 za pomocą gwizdka hydrogeologicznego. Odczyt realizowany jest w każdy wtorek. Szacunkowy błąd pomiaru wynosi w tej metodzie ok.  $\pm 2$  cm.

Od 2000 r. ciśnienie atmosferyczne jest mierzone i rejestrowane automatycznie za pomocą fińskiego urządzenia Milos 500. Pomiar ciśnienia wykonywany jest co godzinę w budynku stacji oddalonym od piezometru około 10 metrów.

W 2000 r. piezometr w Koniczynie został włączony do sieci stacjonarnych obserwacji wód podziemnych SOH realizowanego przez Państwowy Instytut Geologiczny (numer PIG II/547). Raz w roku pobierana jest próbka wody do pełnej analizy chemicznej.

## Dane źródłowe

Dane o głębokości zalegania zwierciadła wody w piezometrze i odpowiadającej w tym dniu wartości ciśnienia atmosferycznego uzyskano dzięki uprzejmości dr. Marka Kejny z Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii UMK, pełniącego od roku 2000 nadzór nad Stacją Bazową.

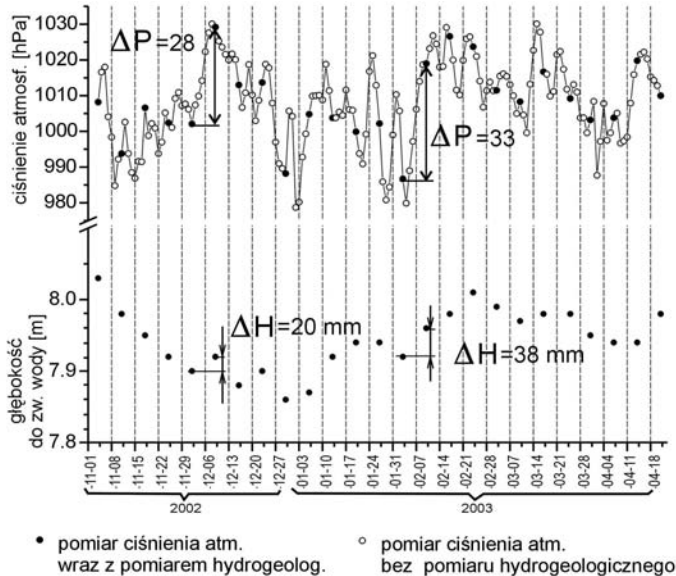


**Rysunek 2.** Wykresy pomierzonego ciśnienia atmosferycznego i głębokości do zwierciadła wody w okresie od 2001 do 2006 r. przy Stacji Bazowej ZMŚP w Koniczynie

**Figure 2.** Water level measurements at piezometer and atmospheric pressure at Base Station of the Integrated Monitoring of the Natural Environment in Koniczynka

Wykresy zamieszczone na rysunku 2 przedstawiają pomierzone wartości z lat 2001–2006. W celu zminimalizowania błędu, jakim obarczony jest ręczny pomiar głębokości zalegania zwierciadła wody, do oznaczenia współczynnika efektywności barometrycznej piezometru wybrano 3 serie pomiarów (A, B, C) charakteryzujące się najmniejszymi sezonowymi zmianami położenia zwierciadła wody. Termin ten odpowiada na ogół końcowi lub przełomowi roku kalendarzowego. Jak widać na wykresie (rys. 2) jest to zarazem okres znacznych skoków ciśnienia atmosferycznego. Analizowane szczegółowo okresy pomiarowe zaznaczono na rysunku 2.

Kolejne dwa wykresy (rys. 3 i 4) przedstawiają szczegółowo serie A i B.



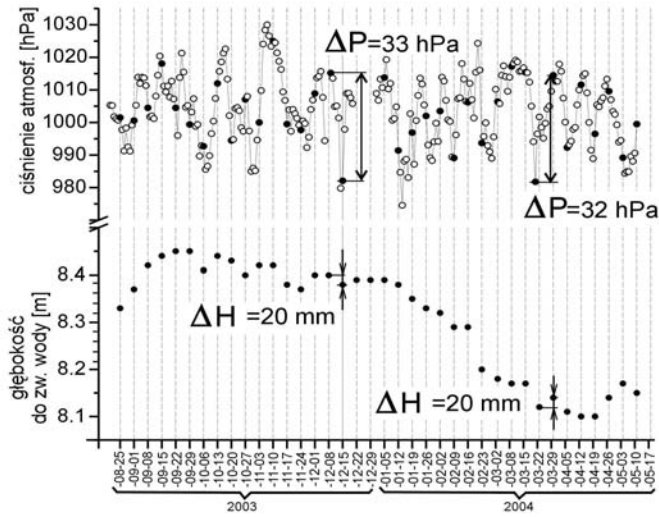
**Rysunek 3.** Wykres zależności ciśnienia atmosferycznego i głębokości do zwierciadła wody dla danych z okresu od listopada 2002 do marca 2003 (seria A)

**Figure 3.** Response of water level in a piezometer to atmospheric pressure

W serii A wykorzystano dwa epizody do oszacowania efektywności barometrycznej. Są to wyniki pomiarów z 3 i 10 grudnia 2001 r oraz z 4 i 11 lutego 2002 r. Zaobserwowano wówczas zmiany ciśnienia atmosferycznego  $\Delta P = 28$  i  $33$  [hPa] i odpowiadające im skoki zwierciadła wody o wartości  $0.03$  [m] i  $0.025$  [m] z błędem pomiaru  $\pm 0.01$  m.

W serii B wykorzystano pomiary z grudnia 2003 r i kwietnia 2004 r. Przy zmianie ciśnienia odpowiednio o  $33$  hPa i  $32$  hPa zanotowano w obu przypadkach zmiany głębokości zwierciadła wody o  $0.02$  [m] (zob. rys. 4).





**Rysunek 4.** Wykres zależności ciśnienia atmosferycznego i głębokości do zwierciadła wody dla danych z okresu od sierpnia 2003 do maja 2004 (seria B). Objasnienia jak na rys. 3.  
**Figure 4.** Response of water level in a piezometer to atmospheric pressure, changes in period from August 2003 to Mai 2004

W ostatniej z wybranych serii (seria C) wykorzystano pomiary z 4 i 18 października 2004 r. Wówczas to, przy zmianie ciśnienia atmosferycznego o 36 [hPa] głębokość do zwierciadła wody zmieniła się o 0.03 [m]. Danych tych nie przedstawiono na rysunku z powody braku miejsca. Tabela 2 przedstawia zebrane pomiary i obliczony współczynnik efektywności barometrycznej.

**Tabela 2.** Wyniki pomiarów głębokości do zwierciadła wody i odpowiadające im wartości ciśnienia atmosferycznego

**Table 2.** Results of measure of depth to the water table and corresponding atmospheric pressure

Zmiana wysokości piezometrycznej $\Delta H$ [m]	Zmiana ciśnienia atmosferycznego $\Delta P$ [Pa]	Ciężar właściwy wody $\gamma$ [N/m <sup>3</sup> ]	Obliczony współczynnik efektywności barometrycznej EB
0.02	28 000	98070.6	0.70
0.038	33 000		1.13
0.02	33 000		0.59
0.02	32 000		0.61
0.03	36 000		0.82
Wartość średnia EB =			0.77

## Podsumowanie

Piezometr Stacji Bazowej w Koniczynie charakteryzuje się współczynnikiem efektywności barometrycznej o wartości  $0.77 \pm 0.3$ . Oznacza to stosunkowo silną odpowiedź systemu hydrogeologicznego zafiltrowanej warstwy wodonośnej na zmiany ciśnienia atmosferycznego. Zmiana ciśnienia atmosferycznego o wartości 10 [hPa] przenosi się na zmianę położenia zwierciadła wody o 10 [mm]. Znaczny błąd wyznaczonego współczynnika wynika z niedokładności ręcznego pomiaru głębokości do zwierciadła wody.

W przypadku analizy warunków hydrogeologicznych w obszarach, gdzie występują niewielkie spadki hydrauliczne (np. w obszarach wododziałowych) stwierdzony wpływ zmian ciśnienia atmosferycznego na wysokość powierzchni piezometrycznej może mieć znaczenie przy wyznaczaniu kierunków przepływu wód podziemnych.

W czasie próbnych pompowań w reżimie nieustalonym, gwałtowne zmiany w ciśnieniu atmosferycznym mają wpływ na wielkość depresji obserwowaną w otworach piezometrycznych i powinny być uwzględnione w interpretacji wyników próbnych pompowań (Kruseman, de Ridder, 1991). Niektóre programy komputerowe do interpretacji próbnych pompowań (jak np. Aquifer Test ver. 4x) zawierają moduł obliczeniowy umożliwiający uwzględnienie tej poprawki.

## Literatura

- Kostrzewski A., 1998: *Organizacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego oraz realizacja programu w latach 1994 – 1997*. [w:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoeosystemów Polski w latach 1994 – 1997: 11-20. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska.
- Kruseman G.P., de Ridder N.A., 1991: *Analysis and evaluation of pumping test data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publikacja 47: 46- 47. II wyd. Wageningen, Holandia, wersja elektroniczna na: [www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ILRI-publicaties/publicaties/Pub47/Pub47.pdf](http://www2.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ILRI-publicaties/publicaties/Pub47/Pub47.pdf).
- Pomianowska H., 2000: *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50000 wraz z objaśnieniami*. CAG Warszawa.
- PIOŚ, 1992: *Program Państwowego Monitoringu Środowiska*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Rasmussen T. C., Crawford L. A., 1997: *Identifying and Removing Barometric Pressure Effects in Confined and Unconfined Aquifer*. Groundwater nr 3: 502-511.
- Toll N. J., Rasmussen T. C., 2007: *Removal of Barometric Pressure Effects and Earth Tides from Observed Water Levels*. Groundwater nr 1: 101-105.
- Wójcik G., Celmer T., 1998: *Raport Stacji bazowej ZMŚP UMK w Koniczynie* [w:] Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoeosystemów Polski w latach 1994 – 1997: 123-160. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska.

Wójcik G., Marciniak K., 1996: *Zakres badań i organizacja systemu pomiarowego*. 29-37 [in:] Wójcik G., Marciniak K., (red.): *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego – Stacja Bazowa w Koniczynie*. PIOŚ — Biblioteka Monitoringu Środowiska.

*Druk publikacji został sfinansowany przez Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu w ramach grantu UMK nr 473-G. Autor dziękuje dr. Markowi Kejnie za udostępnienie wyników monitoringu ze Stacji Bazowej w Koniczynie działającej w ramach Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.*