

Rozpoznanie przyczyn anomalnego zabarwienia wód podziemnych poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej przy wykorzystaniu pakera

Krzysztof Dragon*, Marek Marciniak**, Józef Górski***

The recognition of the reasons of brown water occurrence in the Wielkopolska Buried Valley Aquifer on the basis of multilevel pumping. *Prz. Geol.*, 51: 151–158.

Summary. The article describes an experiment involving pumping of ground water from specific sections of an aquifer with a packer. The aim of the experiment was to identify the vertical differentiation of ground water chemistry of the Wielkopolska Buried Valley Aquifer near Joanka water intake, to reveal the causes of the occurrence of brown water. Using the PARAMEX method, hydrogeological properties of the gravel pack in defined parts of the well screen have been identified in order to establish the parts of aquifer for sampling. The research shows significant differences in the chemistry of ground water, which was pumped from different parts of the aquifer. It has been found that brown water occurs in the lower part of the aquifer and its chemistry is very similar to the water from a Tertiary aquifer of this region. These findings are also supported by the results of the isotope analysis. It has been demonstrated that the flow of brown water to Wielkopolska Buried Valley Aquifer is possible through an improperly decommissioned old well which was built before World War II or through a hydrogeological window between the Tertiary and Quaternary aquifers.

Key words: ground water chemistry, Wielkopolska Buried Valley Aquifer, packer, brown water

Wody podziemne poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej (**wdk**, główny zbiornik wód podziemnych, GZWP nr 144) charakteryzują się na ogół dobrą jakością. W jednej ze studni ujęcia Joanka k. Stęszewa, ujmującej wody tego zbiornika stwierdzono jednak bardzo wysoką barwę. Spowodowało to wstrzymanie budowy tego ujęcia. Niezbędne jest bowiem określenie technologii uzdatniania wody na podstawie wiarygodnej prognozy kształtowania się jej jakości, w warunkach eksploatacji, a to z kolei wymaga ustalenia przyczyny anomalnego zabarwienia wody.

Możliwe są dwa źródła pochodzenia intensywnej barwy wód: geogeniczne cechy środowiska doliny kopalnej lub dopływ wód z niżej występujących poziomów trzeciorzędowych, w których zabarwione wody są powszechnie spotykane na tym terenie. Kluczem do wyjaśnienia genezy zabarwionych wód jest rozpoznanie pionowej strefowości hydrochemicznej.

W artykule opisano eksperyment mający na celu rozpoznanie strefowości hydrochemicznej w osadach doliny kopalnej. Przeprowadzono pobór wód z trzech stref głębokościowych warstwy wodonośnej, różniących się wykształceniem litologicznym. Badania miały wyjaśnić, która z przedstawionych wyżej hipotez w zakresie przyczyny zabarwienia jest prawdziwa.

Warunki hydrogeologiczne obszaru badań

Lokalizację ujęcia Joanka przedstawia ryc. 1. Warunki hydrogeologiczne otoczenia ujęcia charakteryzuje przekrój hydrogeologiczny (ryc. 2). W spągu osadów wodonośnych doliny kopalnej występują gliny zwałowe o zmiennej miąższości, od 15 do ponad 30 m. Bezpośrednio pod tymi glinami występują osady wodonośne piętra trzeciorzędowego,

wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych i pylastych. W rejonie ujęcia obserwuje się charakterystyczny dla **wdk** profil osadów (Dąbrowski, 1985). W spągu występują piaski gruboziarniste ze żwirem, przechodzące ku górze w piaski średnioziarniste. W stropie osadów wodonośnych występują natomiast piaski drobnoziarniste, niekiedy również piaski pylaste i mułki. Miąższość osadów wodonośnych wynosi średnio 40 m. Od powierzchni terenu poziom wodonośny **wdk** jest izolowany serią glin o miąższości od 20 do 30 m.

Rejon badań jest zlokalizowany w strefie wyrównanych ciśnień piezometrycznych warstw wodonośnych trzeciorzędu i czwartorzędu. W rejonie ujęcia, napięte zwierciadło wód piętra trzeciorzędowego stabilizuje się na rzędnej 71–72 m n.p.m., zwierciadło wód doliny kopalnej natomiast na 70–71 m n.p.m., a więc nieco niżej. Możliwe jest zatem przesączanie się wód z piętra trzeciorzędowego do poziomu **wdk**, co potwierdzają wyniki regionalnych badań hydrogeologicznych (Górski, 1989).

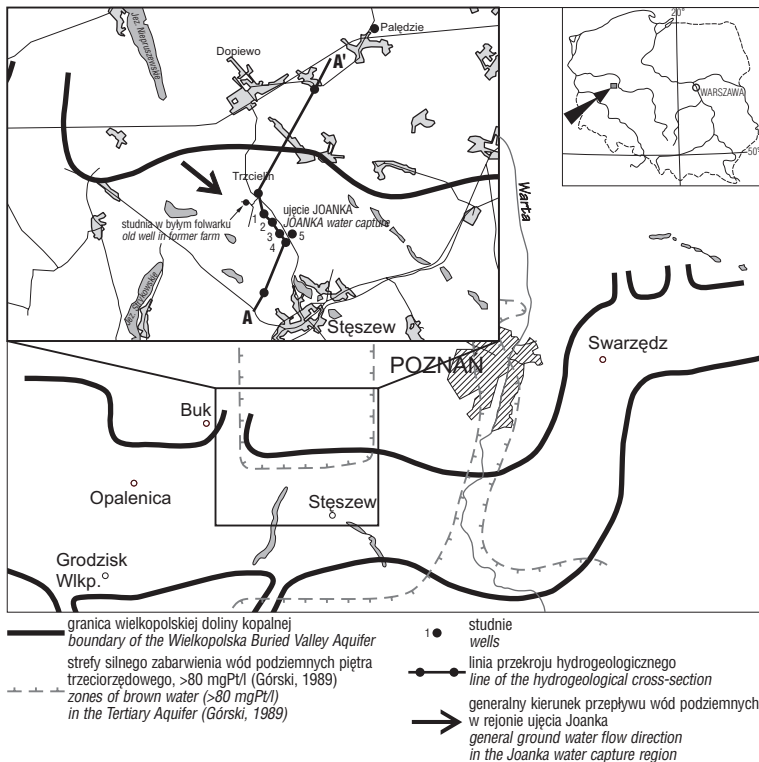
Założenia eksperymentu

W 1997 r. w rejonie wsi Joanka wykonano 5 studni wierconych, ujmujących wody podziemne **wdk**. Studnie te miały zaopatrzyć w wodę mieszkańców gmin Dopiewo oraz Tarnowo Podgórne. W trakcie pompowania studni napotkano jednak problemy, związane z odpowiednią jakością ujmowanej wody (Dąbrowski i in., 1997). W studni nr 1 i 2 stwierdzono bowiem intensywną barwę, wynoszącą odpowiednio 320 i 40 mg Pt/l, której towarzyszyła wysoka utlenialność wody (odpowiednio 19,4 i 6,7 mg O₂/l). Tak intensywna barwa nie była dotychczas spotykana w wodach **wdk**. Co prawda w wodach tego zbiornika dość często spotyka się zabarwienie wyższe niż dopuszczalne w przepisach sanitarnych dotyczących wód pitnych (Dragon, 1999). Barwa jednak najczęściej nie przekracza 50 mg Pt/l. Intensywna barwa jest natomiast dość powszechnie spotykana na terenie środkowej Wielkopolski, w wodach ujmowanych z osadów piętra trzeciorzędowego (Górski, 1989). Ujęcie Joanka leży na granicy strefy wód zabarwionych w rejonie Obrzycko–Szamotuły–Więckowice (ryc. 1).

*Instytut Geologii UAM, ul. Maków Polnych 16, 61-686 Poznań; smok@amu.edu.pl

**Instytut Geografii Fizycznej UAM, ul. Maków Polnych 16, 61-686 Poznań; mmac@amu.edu.pl

***Instytut Geologii UAM, ul. Maków Polnych 16, 61-686 Poznań; gorski@amu.edu.pl



Ryc. 1. Wielkopolska dolina kopalna na tle strefy silnego zabarwienia wód podziemnych piętra trzeciorzędowego
Fig. 1. The Wielkopolska Buried Valley Aquifer relative to zones of brown water in the Tertiary aquifer (Wielkopolska region)

Możliwe są dwie hipotezy wyjaśniające genezę intensywnej barwy. Wody zabarwione mogą pochodzić z uwalniania związków humusowych z materii organicznej, występującej w piaskach drobnoziarnistych i pylastych górnej części profilu **wdk**, czemu sprzyjałby istniejący układ krążenia wód podziemnych (Dąbrowski i in., 1997). Występowanie wód zabarwionych może też być spowodowane dopływem wód z piętra trzeciorzędowego. Skład

chemiczny wód ujęcia Joanka wykazuje bowiem podobieństwo do wód ujmowanych z piętra trzeciorzędowego, na tym terenie. W wodach tych występują dużo wyższe w stosunku do regionalnego tła hydrochemicznego stężenia chlorków oraz sodu, przy stosunkowo niskiej twardości ogólnej wody oraz niskich stężeniach manganu i siarczanów. Wody wszystkich studni charakteryzują się też wyższą zasadowością ogólną w stosunku do twardości ogólnej, co jest charakterystyczne dla wód piętra trzeciorzędowego. W rejonie ujęcia układ ciśnień piezometrycznych umożliwia dopływ wód z głębszego podłoża. Dopływ taki mogłaby ułatwić studnia, która istniała na terenie Gospodarstwa Rolnego Trzciel (były Folwark), ujmująca wody piętra trzeciorzędowego. W przypadku korozji rur, a nawet tylko niewłaściwego uszczelnienia strefy przyotworowej, studnia taka mogłaby umożliwić łączność hydrauliczną wód obu pięter wodonośnych. Prawdopodobne jest też występowanie naturalnego kontaktu hydraulicznego między osadami trzeciorzędu i czwartorzędu.

Geneza zabarwionych wód do chwili obecnej nie została wyjaśniona. Kluczem do rozstrzygnięcia tego problemu jest rozpoznanie pionowej strefowości hydrochemicznej. W celu takiego rozpoznania przeprowadzono strefowe pompowanie studni, z wykorzystaniem pakera. Do tego celu wytypowano studnię nr 1 ujęcia, której wody charakteryzowały się najwyższą barwą. Ponadto przydatność tej studni do strefowego pompowania wynika ze sposobu zafiltrowania otworu 24-metrowym filtrem ujmującym niemalże całą miąższość warstwy wodonośnej. W rejonie tej studni występuje też charakterystyczny profil litologiczny osadów **wdk** składający się z piasków gruboziarnistych i żwirów w spągu, przechodzących wyżej w piaski średnioziarniste, a w najwyższej części składający się z piasków drobnoziarnistych i pylastych (ryc. 2 i 6).

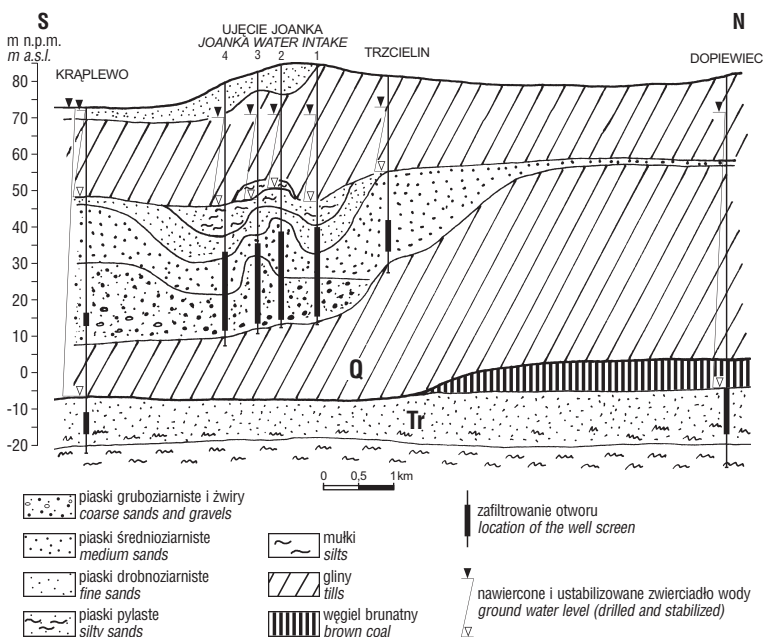
Do badań chemizmu wody zaplanowano pobór próbek z tych trzech, różniących się litologią stref zafiltrowania studni.

Aparatura badawcza

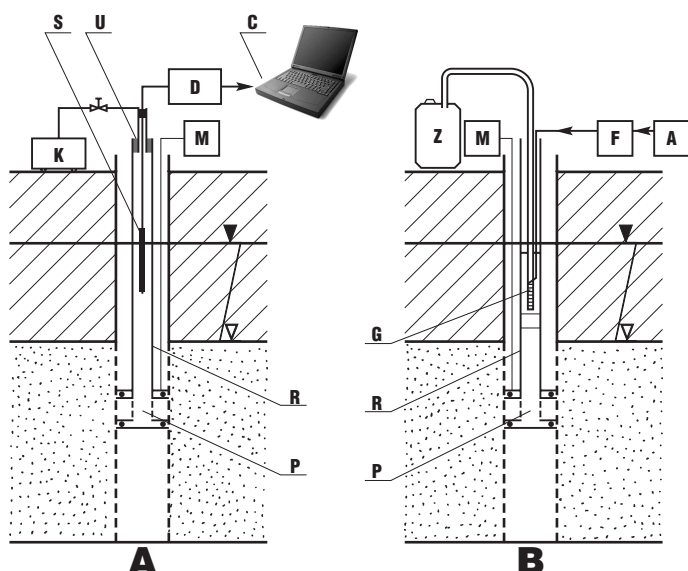
Wykonanie pompowania strefowego w studni wymagało zaprojektowania i wykonania specjalnego zestawu aparaturowego. Można wyróżnić trzy zasadnicze elementy tego zestawu (ryc. 3): **paker** do zamknięcia określonego fragmentu filtru, urządzenia do oznaczania współczynnika filtracji **metodą PARAMEX** (Marciniak, 1999) oraz **pompa** do poboru próbek wody.

Formułowane początkowo wymagania sprzętowe ulegały weryfikacji i modyfikacjom w trakcie prób terenowych:

□ zadaniem **pakera** było zamknięcie niewielkiego odcinka filtru od wnętrza studni. Początkowo przyjmowano, że długość czynna



Ryc. 2. Przekrój hydrogeologiczny; Q — czwartorzęd; Tr — trzeciorzęd
Fig. 2. Hydrogeological cross-section; Q — Quaternary; Tr — Tertiary



Ryc. 3. Schemat aparatury do przeprowadzenia pompowania strefowego studni; A) rozpoznanie parametrów hydrodynamicznych filtra i obsypki; B) pobór próbek wody do analizy fizyczno-chemicznej i izotopowej; P — paker; R — rura z pcw; M — kompresor wraz z manometrem i zaworem; S — sonda poziomowskazowa; D — depresjometr; C — komputer typu note-book; U — uszczelnienie; K — kompresor; A — agregat prądowłoczy; F — regulator obrotów pompy; G — pompa Grundfos; Z — zbiornik na próbkę wody

Fig. 3. Diagram of the apparatus used for multilevel pumping; A) the identification of the hydrodynamic parameters of the screen and gravel pack; B) ground water sampling for chemical and isotopic analysis; P — packer; R — PVC pipe; M — compressor with manometer and valve; S — water level sensor; D — depressiometer; C — notebook computer; U — sealing; K — compressor; A — generator; F — pump regulator; G — Grundfos pump; Z — sampling container

pakera wyniesie 1 m, jednak po pierwszych próbach terenowych długość tę skrócono do 0,5 m,

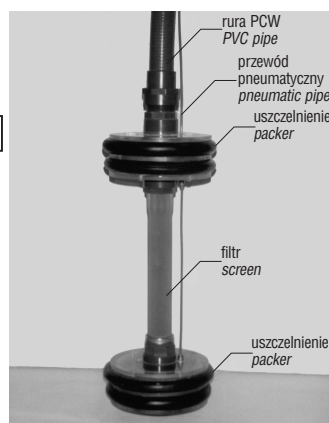
Tab. 1. Wyniki badania parametrów hydrogeologicznych metodą PARAMEX

Table 1. The results of the hydrogeological parameters measurements (using PARAMEX method)

Nr punktu Point No.	Głębokość środka pakera poniżej kryzy (m) Depth of packer center below the well casing (m)	Współczynnik filtracji (m/s) Filtration rate (m/s)	Opis Description
1	46,0		rura nadfiltrująca pipe above filter
2	48,4	$1,49 \times 10^{-5}$	zasyp overburden infill
3	50,4	$9,46 \times 10^{-6}$	zasyp overburden infill
4	52,0	$9,49 \times 10^{-6}$	zasyp overburden infill
5	54,0	$4,41 \times 10^{-3}$	obsypka gravel pack
6	56,0	$4,52 \times 10^{-3}$	obsypka gravel pack
7	58,0	$4,43 \times 10^{-3}$	obsypka gravel pack
8	60,9	$4,91 \times 10^{-3}$	obsypka gravel pack

Lokalizację punktów pomiarowych zobrazowano na profilu — ryc. 5

Location of measurement points shown in Fig. 5



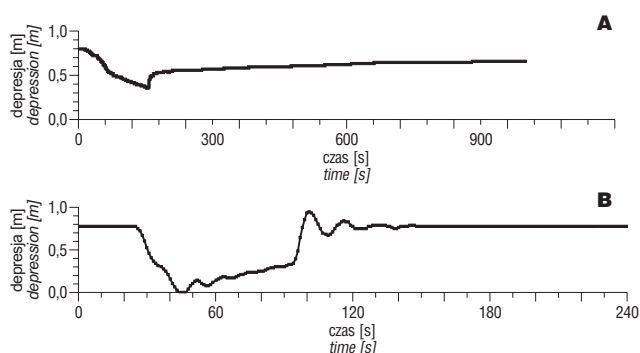
Ryc. 4. Paker do strefowego pompowania studni

Fig. 4. Packer used for multilevel pumping

□ we wstępnej fazie badań terenowych zakładano przeprowadzenie rozpoznania parametrów hydrodynamicznych filtra i obsypki metodą PARAMEX. Rozpoznanie takie wykonywano opuszczając i zamykając paker co 2 m wzdłuż profilu pionowego filtra. Chodziło o dokładne zlokalizowanie aktywnej części filtra, co miało ułatwić wskazanie miejsc, z których pobierane będą próbki wody do badań fizyczno-chemicznych,

□ pobór próbek wody za pomocą pompy głębinowej należało przeprowadzić w taki sposób, ażeby dopływ wody do zamkniętego pakierem odcinka filtra odbywał się z możliwie ograniczonego interwału warstwy wodonośnej, co można było osiągnąć poprzez odpowiedni dobór czasu i wydajności pompowania. Niecenna okazała się tutaj możliwość płynnej regulacji wydatku pompowania, szczególnie w zakresie małych wydatków.

Konstrukcja pakera. Paker umożliwia zamknięcie od wnętrza studni półmetrowego odcinka filtra. Konstrukcję pakera przedstawia (ryc. 4). Zasadniczym jego elementem jest dwucalowy filtr o perforacji szczelinowej, wykonany z pcv. Na górnym i dolnym końcu filtra zostały zamocowane dwa zespoły kołnierzy, o średnicy zewnętrznej mniejszej o 2 cm od średnicy wewnętrznej studni. Pomiędzy kołnierzami zostały umieszczone po dwie dętki, które po napompowaniu sprężonym powietrzem umożliwiają zamknięcie wybranego fragmentu filtra. Powyżej górnego zespołu kołnierzy do pakera jest przykręcana elastyczna rura z pcv. Rura może być zestawiana z wielu odcinków, przy czym każdy z tych odcinków może mieć długość od 1 do 25 m. Zastosowanie rur o różnych długościach pozwoliło precyzyjnie umieścić paker na żądanej głębokości. Łączenie poszczególnych odcinków rury w jedną całość odbywa się poprzez połączenia gwintowe. Równolegle do rury prowadzona jest linka stalowa z metrową podziałką, która umożliwia dokładne określenie głębokości opuszczenia pakera.



Ryc. 5. Typowe wykresy ruchu zwierciadła wody w funkcji czasu; a) dla odcinka filtru zasypanego materiałem nadległym; b) dla odcinka filtru zasypanego obsypką

Fig. 5. The typical graphs of the water level fluctuation as a function of time; a) for the interval of the screen filled overburden upper material; b) for the interval of the screen filled with gravel pack

Doprowadzenie sprężonego powietrza do dętek zamykających pakera umożliwia przewód pneumatyczny opuszczany razem z rurą pcv oraz linką stalową do studni. Sprężonego powietrza dostarcza kompresor zasilany elektrycznie z agregatu. Dla kontrolowania wysokości ciśnienia w dętkach konieczny jest dokładny manometr. Niezbędny jest również zawór zamykający układ sprężonego powietrza. Dla sprawnego opuszczania i podnoszenia pakera wraz z rurą i pozostałym oprzyrządowaniem konieczne okazały się specjalne bębny do rozwijania i zwijania linki stalowej oraz przewodu pneumatycznego. Przydatny był też specjalny mechanizm dźwigniowy mocowany na obudowie studni. Zadaniem tego mechanizmu było ułatwienie opuszczania i podnoszenia rury wraz z pakierem, a także zabezpieczenie całego zestawu przed utopieniem w studni.

Rozpoznanie parametrów hydrodynamicznych metodą PARAMEX. Planując przeprowadzenie pompowania strefowego studni przyjęto, że na warunki dopływu wody do pakera decydujący wpływ mają parametry hydrauliczne obsypki. Dla rozpoznania tych parametrów wykorzystano aparaturę oraz metodykę stosowaną podczas badania współczynnika filtracji metodą PARAMEX (Marciniak, 1999). Schemat aparatury przedstawiono na ryc. 3. Modyfikacja metody PARAMEX polegała na tym, że badanie przeprowadzono w rurze pcv, którą traktowano jak piezometr. Dopływ wody do piezometru odbywał się tylko poprzez zamknięty pakierem odcinek filtru studni. Inicjację przepływu wody przeprowadzono poprzez uszczelnienie wylotu rury, a następnie sprężenie powietrza w rurze — powyżej zwierciadła wody. Spowodowało to obniżenie o kilkadziesiąt centymetrów zwierciadła wody w rurze. Po ustabilizowaniu zwierciadła na obniżonym poziomie otwierano zawór uszczelnienia, co umożliwiało swobodny powrót zwierciadła wody do położenia początkowego. Tempo swobodnego

powrotu zwierciadła wody zależało od parametrów hydraulicznych ośrodka gruntowego znajdującego się przy zamkniętym pakierem fragmencie filtru studni. Obliczenie współczynnika filtracji było możliwe na podstawie algorytmu metody PARAMEX.

Pompa do poboru próbek wody. Najistotniejszym problemem w trakcie pompowania było umożliwienie dopływu wody do pakera tylko z określonej części profilu warstwy wodonośnej. Przy konstrukcji studni z obsypką (o znacznie lepszych parametrach filtracyjnych niż warstwa wodonośna) nie da się uzyskać dopływu wody tylko z zamkniętej pakierem części filtru, ponieważ istnieje możliwość dopływu wody poprzez obsypkę z innych fragmentów warstwy wodonośnej. Można jednak, poprzez odpowiedni dobór wydatku i czasu pompowania ograniczyć strefę dopływu wody do pakera. Należało zatem pompować z wydajnością możliwie niską, a próbki wody do analiz pobierać po możliwie krótkim czasie pompowania.

W celu kontrolowania właściwego doboru wydatku pompowania wykorzystano naturalną strefowość chemiczną wód podziemnych. Rejestrując zmienność w czasie pH, przewodnictwa elektrycznego oraz barwy pompowanych wód, dobrano odpowiedni wydatek oraz czas pompowania.

Z punktu widzenia wyposażenia aparaturowego należało zatem dysponować pompą o niewielkich rozmiarach gabarytowych umożliwiającą wykonanie pompowania w dwu calowej rurze. Ponadto pompa musiała współpracować z regulatorem obrotów zapewniającym możliwość regulacji wydatku pompowania w szerokim zakresie. Dla zasilania pompy w warunkach terenowych konieczne było zastosowanie agregatu prądowego. Wszystkie te wymagania spełnia zestaw firmy Grundfos typu MP-1.

Dla kontrolowania parametrów fizyczno-chemicznych pompowanej wody niezbędne okazało się terenowe stanowisko do ciągłych pomiarów pH, przewodnictwa oraz barwy. Pomiary takie wykonywano w komorze przepływowej wyposażonej w elektrodę pH oraz głowicę konduktometryczną.

Tab. 2. Wyniki pomiarów pionowego potencjału hydraulicznego podczas pompowania strefowego studni

Table 2. The results of the water level fluctuation measurements during multilevel pumping

		Położenie pakera (m poniżej kryzy) <i>Packer position (m below well casing)</i>	
		Góra <i>Top</i>	Dół <i>Bottom</i>
		54,5	69,0
Położenie zwierciadła wody (m poniżej kryzy) <i>Water table position (m below the end of well casing)</i>			
Przed pompowaniem <i>Before pumping</i>	w studni <i>in the well</i>	16,00	16,00
	w pakierze <i>in the packer</i>	16,00	16,00
W trakcie pompowania <i>During pumping</i>	w studni <i>in the well</i>	16,02	16,02
	w pakierze <i>in the packer</i>	16,13	16,13
Po pompowaniu <i>After pumping</i>	w studni <i>in the well</i>	16,01	16,01
	w pakierze <i>in the packer</i>	16,01	16,01

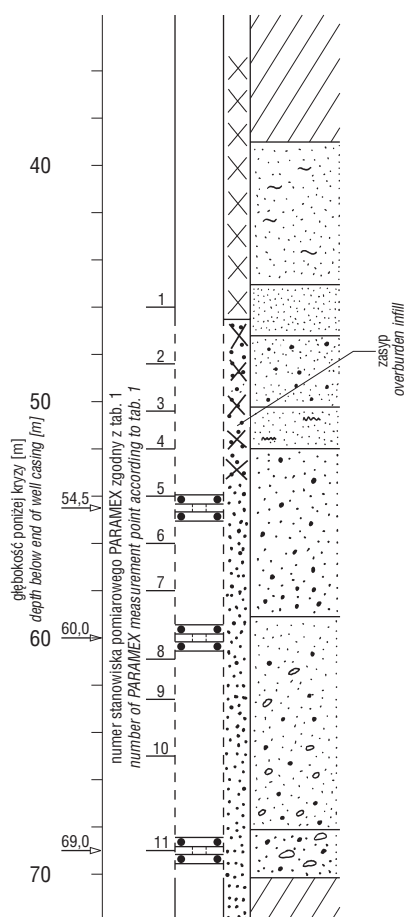
tryczną, wykorzystując wielofunkcyjny przyrząd komputerowy CX-731. Oznaczenia barwy wykonywano co 10 minut metodą kolorymetryczną wykorzystując do tego celu wcześniej przygotowane wzorce.

Rozpoznanie hydrodynamiczne

Rozpoznanie hydrodynamiczne przeprowadzono przed wykonaniem pompowania strefowego. Celem rozpoznania była próba oznaczenia *in situ* wartości parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej oraz identyfikacja tych parametrów konstrukcyjnych studni, które miały wpływ na rezultat pompowania strefowego.

Parametry hydrogeologiczne warstwy wodonośnej. Rozpoznanie pionowej zmienności współczynnika filtracji przeprowadzono metodą PARAMEX. Opuszczając paker z góry na dół zatrzymywano go 11 razy na różnych głębokościach i zamykano kolejne fragmenty filtru studni. Wykonując w rurze pakera badanie metodą PARAMEX uzyskano 10 wartości współczynnika filtracji. Wyniki badania zestawiono w tab. 1, a przykłady zarejestrowanych funkcji ruchu zwierciadła wody pokazano na ryc. 5. W 1 punkcie pomiarowym nie udało się wywołać ruchu zwierciadła wody, co świadczy o tym, że paker zamknięto w rurze nadfiltrowej. Od 2 do 4 punktu pomiarowego po zamknięciu pakera uzyskiwano bardzo powolne tempo ruchu zwierciadła wody (ryc. 5a), a więc stosunkowo niskie wartości współczynnika filtracji. Natomiast w punktach od 5 do 11 tempo ruchu zwierciadła wody było znacznie szybsze (ryc. 4b), a więc wartości współczynników filtracji wysokie. Co ważniejsze, we wszystkich siedmiu punktach od 5 do 11 uzyskano niemal identyczny kształt funkcji ruchu zwierciadła wody w czasie. Średnia wartość współczynnika filtracji z siedmiu oznaczeń wynosi $4,58 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Interpretując uzyskane wyniki należy zauważyć, że wartości współczynnika filtracji uzyskane w punktach od 5 do 11 na poziomie $4,6 \cdot 10^{-3}$ m/s są zbyt wysokie jak dla piasków średnioziarnistych i pospółek opisanych w profilu litologicznym. Na podstawie wzorów empirycznych obliczono bowiem $k = 3,3 \cdot 10^{-4}$ m/s, natomiast z próbnego pompowania uzyskano $k = 3,7 \cdot 10^{-4}$ m/s (Dąbrowski i in., 1997). Otrzymane na podstawie badań metodą PARAMEX wartości współczynników filtracji są zatem o rząd wielko-



Ryc. 6. Profil geologiczny studni 1 w Joance k. Stęszewa (oznaczenia litologiczne jak na przekroju – ryc. 2)

Fig. 6. Geological profile of the well no. 1 in the Joanka water capture (for lithology see caption to fig. 2)

ści wyższe. Trzeba więc uznać, że badania metodą PARAMEX dały obraz parametrów hydrodynamicznych obsypki, a nie warstwy wodonośnej. Dodatkowo wskazuje na to uderzające podobieństwo wartości współczynnika filtracji na całej aktywnej części filtru.

Także wartości współczynnika filtracji uzyskane w punktach od 2 do 4 na poziomie $1,1 \cdot 10^{-5}$ m/s muszą być uznane za zbyt niskie. Można przypuszczać, że wartości współczynników filtracji obliczone na podstawie badania metodą PARAMEX dotyczą w tym przypadku utworów piaszczystych występujących w warstwie wodonośnej wymieszanych z nadległymi piaskami pylastymi, a nawet gliną piaszczystą. Utwory nadległe mogły osunąć się w dół z powodu zbyt małej ilości obsypki wprowadzonej podczas

Tab. 3. Zmienność wskaźników fizyczno-chemicznych wód dolnej części warstwy wodonośnej w trakcie pompowania ze zmienną wydajnością

Table 3. The variability of the physico-chemical parameters in the lower part of the aquifer during pumping with a differential yield

Czas pompowania Time of pumping	Wydajność pompowania Pumping yield	pH	Barwa Coloration	Chlorki Chlorides	Przewodnictwo elektryczne Electric conductivity
(min)	(l/min)	(1)	(mgPt/l)	(mg/l)	(mS/cm)
15	12	7,46	3000	65	770
30	12	7,46	3000	67	767
45	12	7,46	3000	65	768
15	20	7,42	2000	–	735
30	20	7,40	1500	51	710
45	20	7,37	1500	51	700

zabudowy filtru. Za taką interpretacją przemawia dodatkowo charakterystyczny kształt funkcji wzniosu zwierciadła wody (ryc. 5a). Zaraz po rozprężeniu powietrza w piezometrze (rurze pakera) następuje niewielki skok zwierciadła wody w górę, który należy interpretować jako nieszczelność korka zamykającego filtr i obsypkę (Marciniak, 1999).

W ramach przygotowań do pompowania strefowego sprawdzono także pionowe gradienty hydrauliczne. W tym celu zamknięto paker na dwóch głębokościach, a następnie wykonano pomiary położenia zwierciadła wody zarówno w pakerze (rurze), jak i w studni. Pomiary te wykonano przed włączeniem pompy, podczas pompowania oraz po zakończeniu pompowania. Otrzymane wyniki zestawiono

w tab. 2. Jak widać nie udało się stwierdzić żadnych istotnych różnic pomiędzy potencjałem hydraulicznym w dolnych i górnych partiach warstwy wodonośnej. Można podejrzewać, że bardzo dobra przewodność hydrauliczna obsypki zakłóciła naturalny rozkład gradientów hydraulicznych. Natomiast obniżenie zwierciadła wody w studni (o ~2 cm) w trakcie pompowania (z wydajnością 20 l/min) świadczyć może o częściowym dopływie wody ze studni przez obsypkę. Z tego powodu zmniejszono wydatek pompowania podczas poboru próbek wody do analiz.

Konstrukcja studni. Badanie współczynnika filtracji metodą PARAMEX umożliwiło dodatkowo zlokalizowanie aktywnej części filtru studni. Stwierdzono, że filtr musi

Tab. 4. Chemizm wód podziemnych w poszczególnych częściach warstwy wodonośnej ujętej w studni nr 1 w Joance oraz wód piętra trzeciorzędowego

Table 4. The ground water chemistry in different parts of the aquifer tapped in Joanka (well no. 1) and in the Tertiary aquifer

Oznaczany parametr <i>Parametr</i>	Miano <i>Units</i>	Studnia nr 1 ujęcia "Joanka" <i>Well no. 1 in Joanka water intake</i>			Studnie ujmujące wody piętra trzeciorzędowego <i>Wells exploiting the Tertiary Aquifer</i>	
		górną część profilu (54,5 m p. kryzy) <i>upper part</i>	środkową część profilu (60,0 m p. kryzy) <i>middle part</i>	dolną część profilu (69,0 m p. kryzy) <i>lower part</i>	Kraplewo	Pałędzie
Barwa <i>Coloration</i>	mg Pt/l	100	100	3000	80	800
Odczyn <i>Reaction</i>	pH	7,26	7,45	7,46	7,92	7,6
Utlenialność (ChZTMn) <i>Oxidizability</i>	mg O2/l	7,4	5,0	73,6	7,2	46,0
Azot amonowy <i>Ammonia nitrogen</i>	mg/l	0,16	2,2	0,54	0,2	0,8
Azot azotynowy <i>Nitrite nitrogen</i>	mg/l	0,002	nw	0,004	nw	0,045
Azot azotanowy <i>Nitrate nitrogen</i>	mg/l	nw	nw	nw	nw	0,1
Siarczany <i>Sulphates</i>	mg/l	67,0	48,0	35,0	nw	14,3
Chlorki <i>Chlorides</i>	mg/l	40,0	40,0	65,0	11,0	42,0
Zasadowość ogólna <i>Total alkalinity</i>	mval/l	5,2	5,8	6,7	6,3	4,8
Żelazo ogólne <i>Total iron</i>	mg/l	9,6	3,55	21,1	0,16	4,0
Mangan <i>Manganese</i>	mg/l	0,34	0,11	0,56	0,21	0,05
Potas <i>Potassium</i>	mg/l	2,7	2,7	4,7	4,0	-
Sód <i>Sodium</i>	mg/l	13,5	25,0	106,0	95,0	-
Wapń <i>Calcium</i>	mg/l	114,0	93,0	58,0	28,5	-
Magnez <i>Magnesium</i>	mg/l	17,4	20,0	26,9	11,3	-
Twardość og. <i>Total hardness</i>	mval/l	7,3	6,3	5,1	2,4	2,1
Sucha pozostałość <i>Dry residue</i>	mg/l	503	451	1224	405	402
Przewodnictwo elektryczne <i>Electric conductivity</i>	μS/cm	677	699	772	558	-

się rozpoczynać na głębokości między 46,0 a 48,0 m poniżej kryzy, czyli między 45,0 a 47,0 m poniżej powierzchni terenu. Według dokumentacji powykonawczej (karty otworu wiertniczego) filtr rozpoczyna się 45,0 m p.p.t. Zatem posadowienie filtru można uznać za zgodne z dokumentacją hydrogeologiczną. Sposób wykonania obsypki natomiast budzi pewne wątpliwości. Niskie wartości współczynnika filtracji uzyskane w punktach pomiarowych 2, 3 oraz 4 świadczą o zasypaniu górnych fragmentów obsypki (ryc. 6) przypadkowym materiałem nadległym. Można podejrzewać, że podczas budowy studni wprowadzono zbyt mało obsypki w strefę około filtrów.

Dobór właściwej wydajności pompowania. Przygotowując się do poboru próbek wody za pomocą pakera wykonano kilka pompowań przygotowawczych. Podczas tych pompowań starano się określić taką wydajność i czas pompowania, ażeby do analiz pobrać próbki wody tylko z określonych fragmentów warstwy wodonośnej. Założono, że istnieje możliwość pobrania wody z określonej strefy warstwy wodonośnej pompując możliwie krótko i z małym wydatkiem. Poszukując doświadczalnie odpowiednich wydajności kierowano się kryterium stabilności parametrów fizyczno-chemicznych wody podczas pompowania. W trakcie pompowania wykorzystano trzy naturalne znaczniki: pH, przewodnictwo oraz barwę. Co 15 min pobierano też próbkę wody do oznaczenia chlorków.

Stwierdzono, że w badanej warstwie wodonośnej wody o barwie brunatnej występują w partiach przyspągowych, natomiast wody bezbarwne występują w partiach wyższych. Gdy paker zamknięto w górnej części filtru pompowanie ze zbyt dużym wydatkiem powodowało po pewnym czasie pojawienie się wód coraz bardziej brunatnych, które poprzez obsypkę dopływały z dolnych partii warstwy wodonośnej. Natomiast, gdy paker zamknięto, w dolnych partiach studni pompowanie ze zbyt dużym wydatkiem skutkowało stopniowym rozjaśnianiem się zabarwionych wód w trakcie pompowania. Podobną zmiennością w trakcie pompowania charakteryzowały się także pozostałe badane wskaźniki. Zmienność wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych w trakcie pompowania dolnej części profilu warstwy przedstawia tab. 3. Wartości tych wskaźników dla górnej części warstwy wodonośnej ilustruje tab.4.

W trakcie pompowania z wydajnością 12 l/min wybrane wskaźniki fizyczno-chemiczne nie zmieniają się w cza-

nie wymaganym do poboru próbek wody, wykazując wartości charakterystyczne dla wód z dolnej części profilu (por. tab. 4). Po zwiększeniu wydajności pompowania (do 20 l/min) jest widoczna wyraźna zmiana w kierunku wartości charakterystycznych dla wód ujmowanych z górnej części profilu warstwy.

Po kilku próbach udało się dobrać taki wydatek pompowania wody poprzez paker, że kontrolowane parametry fizyczno-chemiczne miały wartości stałe w czasie na poziomie charakterystycznym dla miejsca lokalizacji pakera (nie wykazywały zmian w trakcie godzinowego pompowania, wymaganego dla poboru próbek wody). Po zakończeniu wszystkich prac przygotowawczych pozostawiono studnię na okres dwóch tygodni w stanie postoju. Właściwe pompowanie strefowe połączone z poborem próbek wody do szczegółowych badań laboratoryjnych przeprowadzono w trzech etapach. Najpierw pobrano próbki wody z górnej partii warstwy wodonośnej, następnie po dwutygodniowej przerwie opróbowano dolną część profilu, a na koniec po kolejnej dwutygodniowej przerwie część środkową. Lokalizację miejsc poboru próbek wody schematycznie oznaczono na ryc. 6. Dla wszystkich trzech próbek wykonano badanie składu fizyczno-chemicznego wód, natomiast dla próbek z dolnej oraz z górnej części wykonano również badania izotopowe.

Wyniki badań

W tab. 4 podano wyniki analiz fizyczno-chemicznych wód ujętych z poszczególnych części zafiltrowania warstwy wodonośnej w studni nr 1 ujęcia Joanka. Dla porównania zamieszczono także analizy wód ze studni ujmujących wody z osadów trzeciorzędowych, zlokalizowanych w miejscowości Kraplewo oraz Pałędzie.

Największe zróżnicowanie parametrów fizyczno-chemicznych jest widoczne w przypadku barwy. Wody dolnej części profilu charakteryzują się intensywną barwą wynoszącą 3000 mg Pt/l, podczas gdy w części górnej barwa nie przekracza wartości 100 mg Pt/l. Intensywnej barwie towarzyszy wysoka utlenialność (w części dolnej — 73,6 mg O₂/l, natomiast w części górnej 7,4 mg O₂/l). W badanych wodach występuje też duże zróżnicowanie stężenia wapnia i magnezu oraz twardości ogólnej, zasadowości i suchej pozostałości. Stężenie sodu w części dolnej profilu (wynoszące ponad 100 mg/l) jest charakterystyczne dla wód ujmowanych z osadów trzeciorzędu na tym terenie. Wody pobrane z części środkowej profilu w przypadku

prawie wszystkich parametrów charakteryzują się wartościami pośrednimi. Zróżnicowanie stężenia azotu amonowego, żelaza i manganu oraz utlenialności może być spowodowane procesami zachodzącymi w strefie przyfiltrów, gdyż studnia ta nie była eksploatowana od czasu jej wykonania.

Zrealizowane badania dokumentują znaczne zróżnicowanie chemizmu wód podziemnych, pobranych z poszczególnych części profilu warstwy wodonośnej. Ponadto wody ujęte w dolnej części profilu warstwy wykazują podobieństwo składu chemicznego do wód piętra trzeciorzędowego, które dotyczą: chlorków, sodu, wapnia

Tab. 5. Wyniki badań izotopowych wód podziemnych z poszczególnych stref warstwy wodonośnej

Table 5. The results of the isotope analysis of ground water from different parts of the aquifer

Lp. No.	Poziom zafiltrowania Filtration level	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^{13}C (‰) V-PDB	^{14}C (pMC)	Wiek wody Age of water
1	Górna część warstwy wodonośnej Upper part of the aquifer	-9,6	-68,3	-12,3	65,9 1,0	Woda współczesna Recent water
2	Dolna część warstwy wodonośnej Lower part of the aquifer	-9,89	-70,3	-19,8	23,6 1,0	~8000 lat ~8,000 yrs

i magnezu oraz twardości ogólnej i zasadowości. W świetle wykonanych badań można więc przyjąć, że intensywna barwa wody ujęcia Joanka nie pochodzi ze środowiska doliny kopalnej, lecz z ascenzyjnego dopływu zabarwionych wód z głębszego podłoża. Dopływ taki jest możliwy w wyniku bezpośredniego kontaktu hydraulicznego pomiędzy osadami trzeciorzędu i czwartorzędu. Jednak jak dotąd nie stwierdzono w badanym rejonie okna hydrogeologicznego. Można zatem przypuszczać, że zabarwione wody przedostają się do środowiska **wdk** w wyniku oddziaływania starej studni, zlokalizowanej w dawnym Folwarku Trzcielina, ok. 700 m na północ od ujęcia. W przypadku korozji rur (co mogło być spowodowane wysokim stężeniem siarkowodoru w zabarwionych wodach), bądź niewłaściwego uszczelnienia strefy przyotworowej, studnia ta mogłaby umożliwić kontakt hydrauliczny wód obu pięter wodonośnych. W dostępnych materiałach archiwalnych nie udało się niestety odnaleźć informacji o takiej studni. W trakcie badań terenowych odszukano jednak pracownika dawnego Folwarku (pana Kolczyńskiego, zamieszkałego w Dopiewie), który w okresie międzywojennym odpowiedzialny był za zaopatrzenie w wodę Folwarku, i który pamięta studnie o głębokości ok. 80–90 m (wskazał nawet miejsce jej lokalizacji), ujmującą wody spod szarych glin, które charakteryzowały się intensywną barwą i niską twardością. Według jego relacji studnia ta została wyłączona z eksploatacji w okresie powojennym. Nie pamięta on jednak sposobu jej likwidacji. Za takim pochodzeniem zabarwionych wód przemawia zmniejszenie się barwy w kolejnych studniach ujęcia Joanka, bardziej oddalonych od Folwarku. Im dalej od Folwarku, tym skład chemiczny wód jest mniej podobny do wód piętra trzeciorzędowego. Zmiany te są zgodne z naturalnym kierunkiem przepływu wód podziemnych w tym rejonie (z północnego zachodu na południowy wschód — ryc. 1). Sugeruje to występowanie źródła zabarwionych wód na północ od ujęcia Joanka, właśnie tam, gdzie znajdował się dawny Folwark.

Dopływ wód z piętra trzeciorzędowego potwierdzają wyniki analiz izotopowych. Obliczony na podstawie izotopów węgla wiek wód wykazuje znaczne zróżnicowanie w części górnej i dolnej profilu warstwy wodonośnej. Wody dolnej części warstwy mają wiek ok. 8000 lat, a więc wartość charakterystyczną dla wód strefy drenażu piętra trzeciorzędowego (Górski, 1989). Natomiast wiek wody części górnej profilu warstwy wodonośnej wskazuje, że są to wody współczesne, charakterystyczne dla czwartorzędowych poziomów wodonośnych środkowej Wielkopolski.

Podsumowanie

W artykule opisano eksperyment, polegający na strefowym pompowaniu otworu hydrogeologicznego, po zamknięciu poszczególnych części filtra studziennego pakerem. Pompowanie przeprowadzono w studni zlokalizowanej w miejscowości Joanka k. Stęszewa, ujmującej poziom wodonośny wielkopolskiej doliny kopalnej.

Eksperyment wykonano w celu wyjaśnienia występowania wód o niespotykanej intensywności barwie, znacznie wyższej od regionalnego tła, charakterystycznej dla **wdk**. O wyborze tego otworu do pompowania strefowego zdecydował sposób zafiltrowania studni — 24-metrowy filtr, ujmujący prawie całą miąższość warstwy wodonośnej oraz

charakterystyczna dla osadów **wdk** zmienność litologiczna w profilu pionowym.

W celu przeprowadzenia strefowego pompowania zaprojektowano specjalny zestaw aparaturowy, składający się z: pakera, którego zadaniem było zamknięcie niewielkiego odcinka filtra studziennego, zestawu do oznaczenia współczynnika filtracji metodą PARAMEX oraz pompy głębinowej do poboru prób wody.

W ramach prac przygotowawczych przeprowadzono rozpoznanie pionowej zmienności współczynnika filtracji metodą PARAMEX. Jak się okazało w trakcie badań pomiary te pozwoliły zlokalizować aktywną część filtra studziennego. Zidentyfikowano też zasypaną część filtra, prawdopodobnie w wyniku złego wypełnienia studni obsypką. Informacje te pozwoliły precyzyjnie zlokalizować miejsca poboru próbek wody.

Kluczowym parametrem pozwalającym na pompowanie wody z określonej (zamkniętej pakerem) strefy warstwy wodonośnej, jest właściwy dobór wydajności pompowania. Pompowanie ze zbyt dużą wydajnością powoduje bowiem intensyfikowanie dopływu wody poprzez obsypkę. W celu doboru właściwej wydajności i czasu pompowania wykorzystano naturalne wskaźniki w postaci barwy, pH, przewodnictwa oraz chlorków (wykazujące znaczne zróżnicowanie w górnej i dolnej części warstwy wodonośnej).

Przeprowadzono pompowania w trzech różniących się litologią strefach warstwy wodonośnej. Wykonane badania składu fizyczno-chemicznego wód wykazały znaczne zróżnicowanie stężeń poszczególnych składników wody w profilu pionowym. Ponadto stwierdzono, że wody pompowane z części dolnej warstwy wykazują podobieństwo do wód ujmowanych z piętra trzeciorzędowego na tym obszarze. Obserwacje te potwierdzają wyniki oznaczenia wieku izotopowego wód. Wody części dolnej warstwy mają wiek ~8000 lat (charakterystyczny dla wód z obszaru drenażu piętra trzeciorzędowego). Natomiast wody części górnej wykazują wiek charakterystyczny dla współczesnych wód czwartorzędowych. Obserwacje te pozwoliły potwierdzić hipotezę dopływu do poziomu wodonośnego doliny kopalnej zabarwionych wód z piętra trzeciorzędowego, w wyniku kontaktu hydraulicznego poprzez okno hydrogeologiczne lub też w wyniku łączności hydraulicznej poprzez niewłaściwie zlikwidowaną studnię, zlokalizowaną 700 m na północ od badanej studni ujęcia Joanka.

Literatura

- DĄBROWSKI S. 1985 — Dolina kopalna z interglacjału mazowieckiego w Wielkopolsce środkowej. Biul. IG, 348. Z badań czwartorzędu w Polsce. Wyd. Geol. Warszawa: 5–39.
- DĄBROWSKI S., TRZECIAKOWSKA M. & RYSIUKIEWICZ K. 1997 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych piętra czwartorzędowego poziomu wdk ujęcia Joanka w rejonie m. Trzcielina. Arch. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań.
- DRAGON K. 1999 — Wpływ antropopresji na chemizm wód podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej między Obrą a Wartą. Współczesne Problemy Hydrogeologii. t. 9 pod red. S. Krajewskiego i A. Sadurskiego, Warszawa–Kielce: 37–42.
- GÓRSKI J. 1989 — Główne problemy chemizmu wód podziemnych utworów kenozoiku środkowej Wielkopolski. Z. Nauk. AGH. 45: 114. Kraków.
- MARCINIAK M. 1999 — Identyfikacja parametrów hydrogeologicznych na podstawie skokowej zmiany potencjału hydraulicznego-metoda Paramex. Wyd. Nauk. UAM, Poznań: 276.