

BADANIA HYDROGEOLOGICZNE Z UŻYCIEM PAKERA W STUDNIACH Z OBSYPKĄ ŻWIROWĄ

HYDROGEOLOGICAL RESEARCH WITH USE OF THE PACKER IN GRAVEL PACK WELLS

KRZYSZTOF DRAGON¹, JÓZEF GÓRSKI¹, Marek MARCINIAK²

Abstrakt. W artykule opisano eksperyment strefowego pompowania studni przy użyciu pakera. Celem eksperymentu było określenie przestrzennej zmienności cech fizyczno-chemicznych wód podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej w rejonie ujęcia Joanka dla określenia genezy występowania intensywnie zabarwionych wód w tym rejonie. Dane te zostały wykorzystane do kalibracji modelu numerycznego migracji zanieczyszczeń. Naturalne parametry fizyczno-chemiczne (barwa wód, pH, przewodnictwo oraz stężenia chlorków) zostały wykorzystane do określenia parametrów strefowego pompowania (czas i wydatek pompowania). Stwierdzono, że w przypadku strefowego pompowania pakierem w studni z obsypką żwirową reprezentatywne próbki wód mogą być pobrane tylko w przypadku możliwie krótkiego pompowania z małym wydatkiem.

Słowa kluczowe: paker, strefowe pompowanie studni, wielkopolska dolina kopalna, zanieczyszczenie wód podziemnych.

Abstract. The article describes an experiment involving pumping of groundwater from specific sections of the aquifer with a packer. The aim of the experiment was to identify the vertical differentiation of groundwater chemistry of the Wielkopolska Buried Valley Aquifer near Joanka well-field in order to explain the reasons for the occurrence of “brown water”. The results of multilevel sampling have been used to calibrate the groundwater contaminant transport model. The natural markers (water colour, pH, conductivity and chloride concentration) were used to estimate the parameters of multilevel sampling (pumping rate and pumping time). It appears that in case of multilevel sampling of the productive well with the gravel pack, the representative water sample could be obtained only by short pumping time and small pumping rate.

Key words: packer, multilevel pumping, Wielkopolska Buried Valley Aquifer, groundwater contamination.

WSTĘP

Jedną z metod pozyskiwania danych do budowy modeli matematycznych przepływu wód podziemnych i migracji zanieczyszczeń jest pompowanie pakierowe. Przy użyciu pakera możliwy jest pobór próbek wód z zadanych stref głębokościowych warstwy wodonośnej. Możliwe jest zatem rozpoznanie pionowej zmienności cech fizyczno-chemicznych wód, co jest szczególnie przydatne dla modelowania procesów migracji zanieczyszczeń.

Pobór próbek wód za pomocą urządzeń pakierowych zwykle wykonuje się w specjalnie do tego celu przystosowanych otworach monitoringowych. W artykule opisano eksperyment polegający na pompowaniu wód przy użyciu pakera w studniach eksploatacyjnych z obsypką żwirową. Jak się okazało, występowanie obsypki znacznie utrudniło wykonanie badań, gdyż w tym przypadku nie można było uniknąć przepływu wód poprzez obsypkę o znacznie lepszych właściwościach

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, ul. Maków Polnych 16, 61-606 Poznań, e-mail: smok@amu.edu.pl

² Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, ul. Dziegielewa 27, 61-680 Poznań; e-mail: mmarc@amu.edu.pl

filtracyjnych niż warstwa wodonośna. Do pakera poprzez obsypkę dopływają również wody ze stref warstwy wodonośnej położonych poza częścią objętą pakierem.

W artykule przedstawiono szacunkowe obliczenia ilości wód dopływających z warstwy wodonośnej i z obsypki. W celu zweryfikowania tych obliczeń wykonano eksperymentalne pompowania przy użyciu pakera. Na tej podstawie, wykorzystując naturalną strefowość hydrochemiczną wód, wyznaczono podstawowe parametry pompowania, tj. czas

i wydatek. Następnie uzyskane w wyniku pompowań pakerych dane wykorzystano do budowy modelu migracji zanieczyszczeń, który posłużył do określenia prognozy przemieszczania się intensywnie zabarwionych wód w rejonie nowo projektowanego ujęcia Joanka k. Poznania w warunkach eksploatacji tego ujęcia (Dragon i in., 2007). Dane uzyskane ze strefowego pompowania i opróbowania wód wykorzystano do kalibracji parametrów modelu migracji zanieczyszczeń (stała dyspersji podłużnej, stała dyspersji poprzecznej).

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Studnie projektowanego ujęcia Joanka (fig. 1) położone są około 1 km na południe od granicy wielkopolskiej doliny kopalnej (GZWP nr 144; Kleczkowski red., 1990). Osady wypełniające dolinę kopalną zdeponowane są w dwóch cyklach sedymentacyjnych. W spągowych partiach dolinę kopalną budują gruboziarniste osady sedymentacji fluwioglacjalnej. Są to głównie żwiry i pospółki o współczynniku filtracji $k = 1,9 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s. W wyższych partiach wy-

stępują osady o genezie fluwialnej. Są to przeważnie piaski średnio- i drobnoziarniste o współczynniku filtracji $k = 8,0 \cdot 10^{-5} - 5,6 \cdot 10^{-4}$ m/s (Dąbrowski, 1990). Od powierzchni poziom wodonośny doliny kopalnej izolowany jest serią glin o miąższości 20–30 m (fig. 2).

Poziom miocenijski budują w przewodzie piaski drobno- i średnioziarniste (często z domieszką piasków pylastych). Miąższość tych osadów nie przekracza 10 m. Zwierciadło

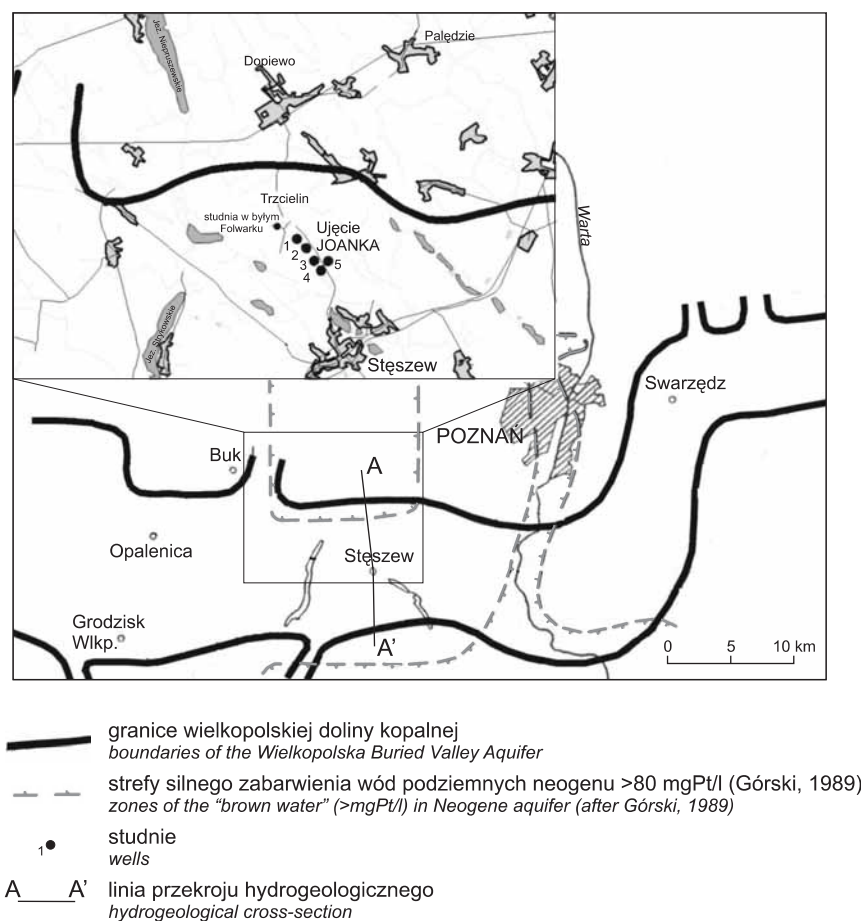


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

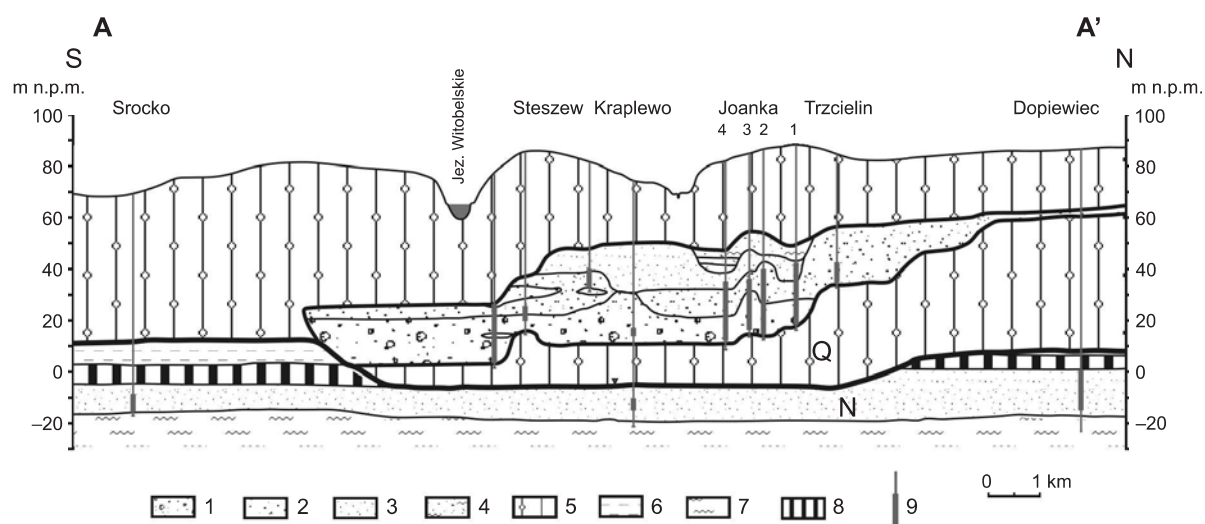


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny

1 – żwiry, pospółki, piaski gruboziarniste, 2 – piaski średnioziarniste, 3 – piaski drobnoziarniste, 4 – piaski pylaste, 5 – gliny, 6 – ility, 7 – mułki, 8 – węgiel brunatny, 9 – strefa zafiltrowania otworu; Q – czwartorzęd, N – Neogen

Hydrogeological cross-section

1 – gravels and coarse sands, 2 – medium sands, 3 – fine sands, 4 – silty sands, 5 – tills, 6 – clays, 7 – silts, 8 – brown coal, 9 – location of the well screen; Q – Quaternary, N – Neogene

wód ma charakter napięty i w rejonie ujęcia Joanka stabilizuje się na rzędnych 71,5–72,5 m n.p.m., tj. około 1 m powyżej zwierciadła wód w poziomie wielkopolskiej doliny kopalnej (Górski, 1989).

Ujęcie wód podziemnych Joanka składa się z pięciu studni, usytuowanych mniej więcej na linii zgodnej z kierunkiem przepływu wód, z północnego zachodu na południowy wschód (Dąbrowski i in., 2005). Z uwagi na intensywną barwę wód (w trakcie dokumentowania ujęcia w studni nr 1 stwierdzono barwę 320 mg Pt/l), ujęcie do chwili obecnej nie zostało włączone do eksploatacji.

Studnia nr 1 ujęcia, w której wykonano pompowanie przygotowawcze, ma głębokość 71 m. Miąższość warstwy wodonośnej wynosi 31 m (przedział głębokości 38–69 m). Filtr studzienny o długości 24 m zabudowany został w przedziale głębokości 45–68 m, ujmuje więc niemal całą miąższość warstwy wodonośnej. Średnica rury nadfiltrowej (wyprowadzonej na powierzchnię) wynosi 298 mm. W studni zastosowano obsypkę żwirową 1,4–2,0 mm. Współczynnik filtracji warstwy wodonośnej wyznaczony na podstawie próbnego pompowania wynosi $3,7 \cdot 10^{-4}$ m/s (Dąbrowski i in., 1997).

EKSPERYMENT STREFOWEGO POMPOWANIA STUDNI

W studniach ujęcia Joanka przeprowadzono eksperyment, który polegał na strefowym pompowaniu i poborze próbek wód z poszczególnych przedziałów głębokościowych warstwy wodonośnej. W pięciu studniach ujęcia pobrano próbki wód w górnej, środkowej i dolnej części warstwy wodonośnej przy użyciu pakera własnej konstrukcji (fig. 3). W każdej ze studni wykonano też oznaczenia współczynnika filtracji obsypki metodą PARAMEX (Dragon i in., 2003).

Najistotniejszym problemem w trakcie pompowania było umożliwienie dopływu wody do pakera tylko z określonej części 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 niż zamknięty pakierem fragmentów warstwy wodonośnej.

W celu określenia ilości wody dopływającej do pakera z warstwy wodonośnej oraz wielkości pionowego dopływu poprzez obsypkę wykonano obliczenia według wzoru:

$$\frac{Q_w^*}{Q_o^*} = \frac{2\pi r_2 l k_w J}{2(\pi r_2^2 - \pi r_1^2) k_o J} \quad [1]$$

gdzie:

- Q_w^* – dopływ z warstwy wodonośnej [m^3/s],
- Q_o^* – dopływ z obsypki [m^3/s],
- l – długość pakera [m],
- k_o – współczynnik filtracji obsypki [m/s],
- k_w – współczynnik filtracji warstwy wodonośnej [m/s],
- r_1 – promień filtra [m],
- r_2 – promień filtra z obsypką [m],
- J – spadek hydrauliczny [–].

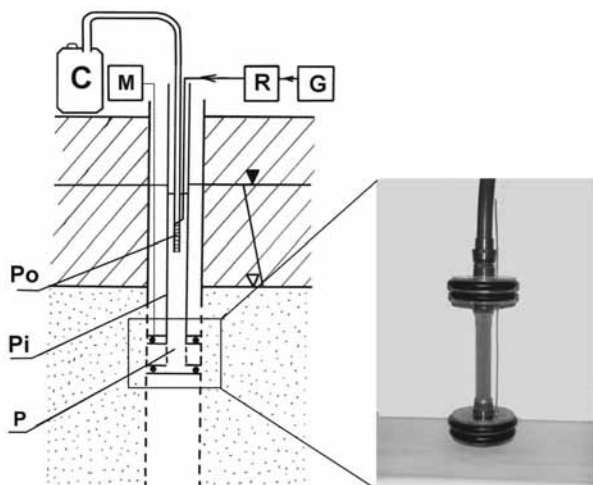


Fig. 3. Schemat aparatury do przeprowadzenia pompowania strefowego studni (według Dragona i in., 2003)

P – packer, Pi – rura z pcv, M – kompresor wraz z manometrem i zaworem, G – agregat prądowłoczy, R – regulator obrotów pompy, Po – pompa Grundfos, C – zbiornik na próbkę wody

The apparatus used for multilevel pumping
(after Dragon *et al.*, 2003)

P – packer, Pi – PCV pipe, M – compressor with manometer and valve, G – generator, R – pump regulator, Po – Grundfos pump, C – container

Do obliczeń przyjęto następujące wartości parametrów: $l = 0,5$ m, $k_o = 4,6 \cdot 10^{-3}$ m/s, $k_w = 3,7 \cdot 10^{-4}$ m/s, $r_1 = 0,15$ m, $r_2 = 0,203$ m. Wartość współczynnika filtracji warstwy wodonośnej przyjęto za Dąbrowskim i in. (1997), zaś współczynnik filtracji obsypki określono doświadczalnie metodą PARAMEX (Dragon i in., 2003). Założono, że spadek hydrauliczny J przy rozpatrywaniu dopływu przez obsypkę i dopływu z warstwy wodonośnej ma taką samą wartość.

Według tak przyjętych założeń obliczono stosunek:

$$\frac{Q_w}{Q_o} = \frac{0,0375}{0,0861} \approx 0,44 \quad [2]$$

Z obliczeń wynika więc, że pionowy dopływ do pakera poprzez obsypkę stanowi około 66% całkowitego dopływu do pakera. Zakładając pompowanie z wydatkiem 20 l/min, w ciągu godziny ze studni zostanie pobrane około 1200 l wody, z czego 790 l pochodzić będzie z pionowego dopływu z obsypki. W jednym metrze obsypki zgromadzone jest około 17 l wody. Zasięg oddziaływania pakera wyniesie więc około 45 m (tj. po 22,5 m od dołu i od góry). Innymi słowy, po godzinie pompowania do pakera będą dopływały wody z obsypki ze strefy około 22,5 m powyżej i poniżej pakera. Przy założeniu pompowania z wydatkiem 10 l/min, zasięg ten wynosi około 23 m.

Na podstawie powyższych obliczeń podjęto decyzję o strefowym opróbowaniu otworu w trzech punktach, tj. w górnej, środkowej oraz dolnej części warstwy wodonośnej.

W celu zweryfikowania wykonanych obliczeń w studni nr 1 wykonano kilka pompowań przygotowawczych. Pomie-

Tabela 1

Zmienność wskaźników fizyczno-chemicznych w dolnej części warstwy wodonośnej w trakcie pompowania ze zmienną wydajnością

Variability of the physico-chemical parameters in the lower part of the aquifer during pumping with differential yield

Czas pompowania [min]	Wydajność pompowania [l/min]	Odczyn pH [-]	Barwa [mgPt/l]	Chlorki [mg/l]	Przewodnictwo elektryczne [μS/cm]
Dolna część warstwy wodonośnej					
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
Górna część warstwy wodonośnej					
		7,26	100	40	677

Tabela 2

Wyniki pomiarów pionowego potencjału hydraulicznego podczas pompowania strefowego studni

Results of water level fluctuation measurements during multilevel pumping

		Położenie pakera [m poniżej kryzy]	
		górze	dół
		54,50	69,00
Położenie zwierciadła wody [m poniżej kryzy]			
Przed pompowaniem	w studni	16,00	16,00
	w pakerze	16,00	16,00
W trakcie pompowania	w studni	16,02	16,02
	w pakerze	16,13	16,13
Po pompowaniu	w studni	16,01	16,01
	w pakerze	16,01	16,01

dzy poszczególnymi pompowaniami pozostawiano studnię w stanie postoju na okres minimum dwóch tygodni, aby nastąpiło odbudowanie naturalnej strefowości hydrochemicznej, zaburzonej w trakcie pompowania. W celu kontrolowania właściwego doboru wydatku pompowania wykorzystano naturalną strefowość chemiczną wód podziemnych, w zakresie takich parametrów jak: pH, przewodnictwo elektryczne, barwa oraz stężenia chlorków, które były oznaczane w pompowanej wodzie.

Stwierdzono, że w badanej warstwie wodonośnej wody o barwie brunatnej występują w dolnych jej częściach, nato-

miast wody o niskiej barwie występują w partiach górnych. Gdy paker zamknięto w górnej części filtru, pompowanie 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 skutkowało stopniowym rozjaśnianiem się zabarwionych wód. Podobną zmiennością w trakcie pompowania charakteryzowały się także pozostałe badane wskaźniki. Zmienność wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych w trakcie pompowania dolnej części profilu warstwy obrazuje tabela 1.

Wyniki badań przedstawione w tabeli 1 wskazują, że w trakcie pompowania dochodzi do mieszania się wód dopływających z warstwy wodonośnej oraz dopływających poprzez pionowe przepływy w obsypce. Możliwość taką dokumentują również pomiary położenia zwierciadła wody w pa-

kerze (rurze) oraz we wnętrzu studni wykonane przed, w trakcie i po pompowaniu (tab. 2). Jak widać, w trakcie pompowania pakera (z wydatkiem 20 l/min) dochodzi do obniżenia zwierciadła wody o około 2 cm również we wnętrzu studni.

Wyniki tych badań wskazują, że pobór próbek wody przy użyciu pakera w studni z obsypką żwirową powinien następować z jak najmniejszym wydatkiem, w możliwie krótkim czasie, niezbędnym dla pobrania próbki wody. Tylko w takim przypadku pobrana próbka wody może mieć skład chemiczny charakterystyczny dla określonego w przybliżeniu fragmentu warstwy wodonośnej.

W trakcie pompowań przygotowawczych oszacowano, że podczas pompowania pakera z wydatkiem 12 l/min badane parametry hydrochemiczne wykazują stabilność w czasie niezbędnym do pobrania próbek wód, nie dłuższym niż 15 minut.

PODSUMOWANIE

Wykonanie badań pakerowych w otworach hydrogeologicznych wyposażonych w obsypkę żwirową jest znacznie utrudnione w wyniku dopływu wód poprzez obsypkę spoza strefy objętej pakierem.

Zasięg strefy, z której następuje dopływ wód do pakera, można jednak w przybliżeniu określić dla przyjętej wydajności, znając parametry geometryczne filtra i obsypki oraz przepuszczalność warstwy wodonośnej i obsypki. Jednocześnie w celu maksymalnego ograniczenia zasięgu strefy dopływu wód do pakera niezbędny jest taki dobór wydajności i czasu pompowania, aby zapewnić dopływ świeżej wody z warstwy wodonośnej, a zarazem ograniczyć strefę dopływu wód poprzez obsypkę.

Badania eksperymentalne wykonane dla studni projektowanego ujęcia Joanka wykazały, że spełnienie powyższych założeń pozwala na uzyskanie reprezentatywnych danych o zmienności parametrów hydrogeochemicznych w profilu warstwy wodonośnej. Dane te pozwoliły na skonstruowanie modelu przepływu i migracji wód silnie zabarwionych oraz wyjaśnienie ich genezy (Dragon i in., 2007). Podkreślić jednak należy, że w przypadku opróbowania hydrochemicznego przy użyciu pakera w studni z obsypką żwirową zadowalające wyniki można uzyskać jedynie w przypadku dużego zróżnicowania cech fizyczno-chemicznych wód w profilu pionowym w warstwach wodonośnych o dużej miąższości.

LITERATURA

- DĄBROWSKI S., 1990 – Hydrogeologia i warunki ochrony wód podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- DĄBROWSKI S., PÓŹNIAK J., MATUSIAK M., PAWLAK A., 2005 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych piętra czwartorzędowego poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej ujęcia „Joanka” w rejonie miejscowości Trzcielina. Arch. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań.
- DĄBROWSKI S., TRZECIAKOWSKA M., RYSIUKIEWICZ R., 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., MARCINIAK M., GÓRSKI J., 2003 – Rozpoznanie przyczyn anomalnego zabarwienia wód podziemnych poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej przy wykorzystaniu pakera. *Prz. Geol.*, **51**, 2:151–158.
- DRAGON K., MARCINIAK M., GÓRSKI J., KASZTELAN D., 2007 – Geneza i warunki migracji intensywnie zabarwionych wód w poziomie wielkopolskiej doliny kopalnej. *Geologos*, **12**, Monographiae, **4**. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- GÓRSKI J., 1989 – Główne problemy chemizmu wód podziemnych utworów kenozoiku środkowej Wielkopolski. *Zesz. Nauk. AGH*, **45**.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1:500 000. AGH, Kraków.