

MOŻLIWOŚCI INTERPRETACJI NATURALNYCH WAHAŃ ZWIERCIADŁA WÓD GRUNTOWYCH NA PODSTAWIE POMIARÓW ZE STANOWISKA BADAWCZEGO NA TERENIE AGH W KRAKOWIE

INTERPRETATION POSSIBILITIES OF NATURAL GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATIONS ON THE BASIS OF MEASUREMENTS REALIZED IN THE RESEARCH STATION AT AGH IN KRAKÓW

ANNA ŻUREK¹

Abstrakt. W pracy są prezentowane wyniki pomiarów wahań zwierciadła wód gruntowych, realizowanych od końca listopada 2005 r. na stanowisku badawczym zlokalizowanym na terenie AGH w Krakowie. Czujniki położenia zwierciadła wody są zamontowane w trzech piezometrach, a stany wód są rejestrowane co godzinę. Przeanalizowany został wpływ wielkości opadów i ich rozkładu w czasie na naturalne wahania zwierciadła wody podziemnej. Dla okresów ograniczonej infiltracji został określony wpływ zmian ciśnienia atmosferycznego. Zasugerowano wpływ wysokich stanów wody w Wiśle na gwałtowne wzniosy zwierciadła wód gruntowych w okresie powodzi w maju i czerwcu 2010 roku.

Słowa kluczowe: zwierciadło wód, naturalne wahania, czwartorzędowa warstwa wodonośna, Kraków.

Abstract. In the paper are presented the results of groundwater level measurements which have been realized since the end of November 2005 in the research station at AGH in Kraków. Water level gauges were installed in 3 piezometers. Water level data are recorded every hour. The influence of precipitation duration and intensity on natural groundwater fluctuations was analyzed. For the periods of low infiltration the effects of atmospheric pressure changes on water level were illustrated. The influence of flood waves on extreme water table increases in May and June 2010 is suggested.

Key words: groundwater level, natural fluctuations, Quaternary aquifer, Kraków.

WPROWADZENIE

Zwierciadło wód gruntowych podlega nieustannym wahaniom wynikającym ze zmiennych w czasie warunków zasilania i drenażu. Płytkie wody podziemne są zasilane głównie poprzez infiltrację wód opadowych i dlatego położenie zwierciadła wody jest silnie uzależnione od warunków atmosferycznych, przede wszystkim wielkości opadów, ich intensywności oraz temperatury powietrza. W wodach podziemnych z obszarów dolin rzecznych, które są silnie

powiązane hydraulicznie z wodami powierzchniowymi, wielkość drenażu jest ściśle związana ze stanami wód w rzece. Ta zależność jest wykorzystywana w metodach oceny wielkości odpływu podziemnego metodami rozdziału hydrogramu przepływu rzeki (Pleczyński, 1981; Pazdro, Kozerski, 1990). Amplituda wahań zwierciadła wód gruntowych zależy także od parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej, głównie współczynnika odsączalności (Dawy-

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: zurek@agh.edu.pl

dow i in., 1979). W gruntach żwirowo-piaszczystych amplitudy wahań są mniejsze niż przykładowo, w glinach piaszczystych, ale reakcje na zwiększoną wskutek opadów infiltrację są bardzo szybkie.

Rejestracja zapisów z elektronicznych czujników położenia zwierciadła wody (ang. *diver*) pozwala na stałą obserwację wahań i rozszerza możliwości interpretacyjne.

Celem pracy jest analiza wyników ciągłych pomiarów położenia zwierciadła wody podziemnej w czwartorzędowej piaszczysto-żwirowej warstwie wodonośnej zlokalizowanej w dolinie Wisły na terenie Krakowa i przedstawienie zaobserwowanych zależności pomiędzy naturalnymi wahaniami zwierciadła wody a wielkością opadów, średnią temperaturą powietrza i ciśnieniem atmosferycznym.

METODYKA BADAŃ

Stale obserwacje wahań zwierciadła wody są realizowane w stacji badawczej zlokalizowanej na terenie AGH w Krakowie. Stacja badawcza składa się ze stanowiska lizymetrycznego, którego pełniejszą charakterystykę zawiera praca Żurek i Czopa (2010) oraz węzła hydrogeologicznego, w skład którego wchodzi studnia eksploatacyjna z piezometrem przyfiltrowym (P-1) i 3 piezometry obserwacyjne (P-2, P-3, P-6) (fig. 1). Węzeł hydrogeologiczny jest wykorzystywany w pracy badawczej i działalności dydaktycznej przez Katedrę Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska oraz Katedrę Górnictwa Odkrywkowego Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii.

Stacja badawcza znajduje się na tarasie niskim Wisły, gdzie występuje plejstoceński poziom wodonośny (Kleczkowski, 2003). Czwartorzędowy zbiornik wód podziemnych stanowi w tym rejonie GZWP 450 – Dolina rzeki Wisły (Duda i in., 1997). Poziom plejstoceński charakteryzuje się zróżnicowaniem w pionie pod względem składu ziarnowego, gdzie najgrubszy materiał występuje w spągowej części warstwy wodonośnej (Kleczkowski, 2003).

Analogiczną zmienność obserwuje się w otworach tworzących stację badawczą AGH. Studnia eksploatacyjna jest studnią dogłębną o głębokości 16 m ppt. Warstwę wodonośną stanowią piaski średnie i żwiry występujące odpowiednio na głębokościach: 2,6–6,1 i 6,1–14,7 m p.p.t. Studnia jest zafiltrowana w warstwie żwirowej na głębokości od 10–15 m p.p.t. W nadkładzie utworów wodonośnych znajdują się namuły i grunty nasypowe, natomiast w spągu ility i łowce neogenu. Szczegółowy profil litologiczny studni oraz parametry hydrogeologiczne utworów wodonośnych zostały opisane w pracy Żurek i Czudeca (2007). Piezometry P-1, P-2, P-3 mają praktycznie taką samą głębokość otworu i strefy zafiltrowanej oraz profil litologiczny jak studnia eks-

ploatacyjna. Jedynie piezometr P-6 o głębokości 7,5 m jest zafiltrowany w piaskach na głębokości 2,5–7,5 m p.p.t.

Studnia eksploatacyjna jest wyposażona w pompę o wydajności 35 m³/h. Od momentu uruchomienia stacji badawczej w listopadzie 2005 roku dwukrotnie przeprowadzono dłuższe eksperymenty próbnego pompowania (przełom sierpnia i września 2007 – por. fig. 2B, oraz w marcu 2008 – por. fig. 2C). Generalnie studnia i otwory pełnią funkcję monitorującą naturalne wahania zwierciadła, ale od roku 2008, czyli od momentu uruchomienia dydaktycznego Laboratorium Hydrauliki Geoinżynierskiej w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego pompa jest włączana dla potrzeb laboratorium na okres 1–2 godzin nawet kilka razy w tygodniu. Krótkotrwałe pompowanie powoduje z reguły kilkugodzinne zaburzenie naturalnego stanu zwierciadła wód gruntowych i musi być uwzględniane przy interpretacji.

W piezometrze przyfiltrowym P-1 oraz w piezometrach P-2 i P-3 są zamontowane czujniki wysokości zwierciadła wody, które rejestrują głębokość do zwierciadła wody z dokładnością do 1 cm. Dodatkowo w piezometrze P-1 mierzona jest temperatura wody (dokładność pomiaru to 0,1°C). Na podstawie odczytu z wodomierza rejestrowany jest wydatek pompy. Z dokładnością do 0,01 mbara mierzone jest ciśnienie atmosferyczne, a na stanowisku lizymetrycznym rejestruje się wysokość opadu i temperaturę przy gruncie. Pomiaru wykonywane są co 15 minut, natomiast uśrednione wyniki pomiarów zapisywane są na rejestratorze wielokanałowym z częstotliwością raz na godzinę. Rejestrowane są także maksymalne i minimalne wielkości odczytu zmierzone w czasie jednej godziny. Dane z rejestratora są czytywane z kilkumiesięczną częstotliwością. Rejestratory są zasilane z zewnętrznego źródła energii elektrycznej, co niestety skutkowało dwukrotnie dłuższym brakiem zasilania i w efekcie utratą rejestrowanych danych (por. II na fig. 2A i I na fig. 2B).

WYNIKI POMIARÓW

Stale pomiary głębokości do zwierciadła wody są prowadzone w piezometrach P-1 (przyfiltrowy w studni eksploatacyjnej) P-2 i P-3 (fig. 1). Rzędne położenia zwierciadła wody w poszczególnych piezometrach, uzyskane po szcze-

gółowej niwelacji otworów, potwierdzają kierunek przepływu wody ku Wiśle. Różnica położenia zwierciadła wody pomiędzy piezometrami P-3 i P-1 leżącymi na kierunku przepływu wynosi średnio 2 cm, oczywiście poza okresami, gdy

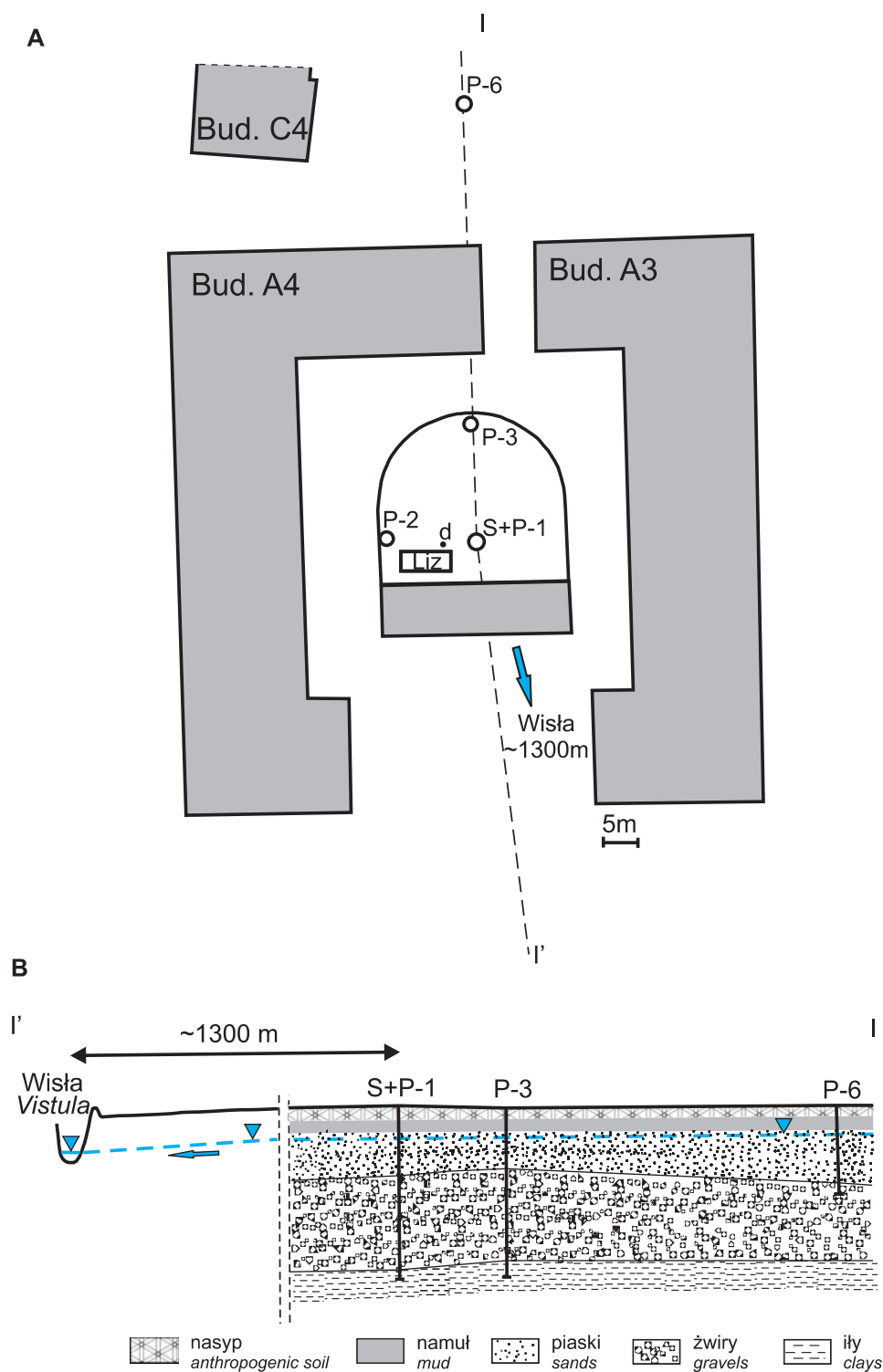
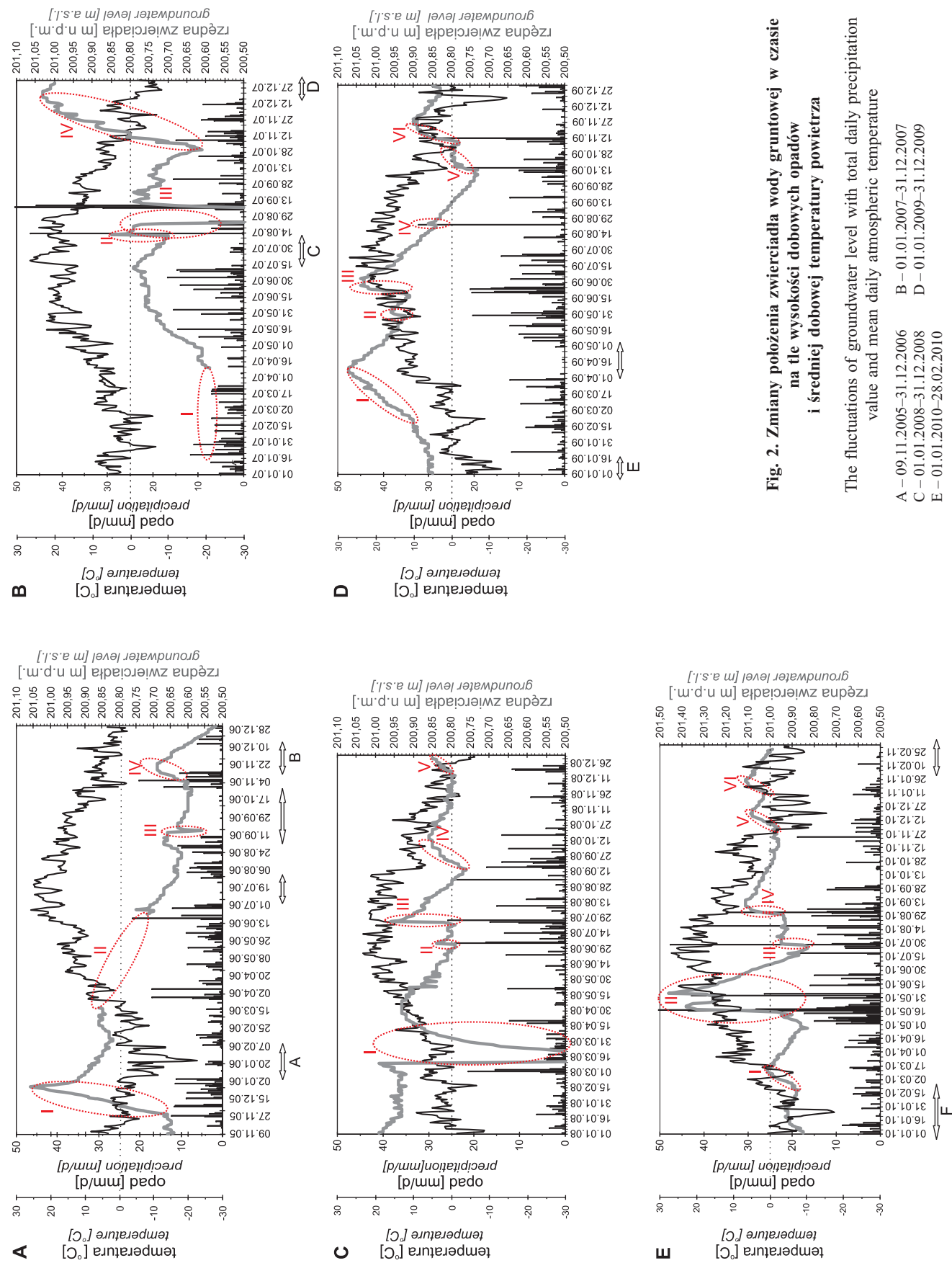


Fig. 1. Szkic lokalizacji stanowiska badawczego na terenie AGH w Krakowie (A) wraz z ideowym przekrojem hydrogeologicznym (B)

P-1, P-2, P-3, P-6 – piezometry, S – studnia eksploatacyjna, d – deszczomierz, Liz – stanowisko lizymetryczne

Location of research station at AGH area in Kraków (A) with schematic hydrogeological cross-section (B)

P-1, P-2, P-3, P-6 – piezometers, S – well, d – precipitation gauge, Liz – lysimeters



realizowane było próbne pompowanie, co oznacza, że gradient hydrauliczny wynosi około 0,0013. Tak niewielki gradient jest typowy dla warstw wodonośnych o bardzo dobrej przepuszczalności. Współczynnik filtracji oszacowany na podstawie wyników próbnego pompowania studni eksploatacyjnej wchodzącej w skład poletka badawczego wyniósł, w zależności od przyjętych założeń, 160–180 m/d (Żurek, Czudec, 2007) i potwierdza bardzo dobre warunki przepływu w badanym obszarze.

Analizę naturalnych wahań zwierciadła wody przeprowadzono dla piezometru P-2, gdyż piezometr ten nie reaguje istotnie na bardzo krótkie pompowania realizowane przez laboratorium Katedry Górnictwa Odkrywkowego. Na [figurze 2](#) zostały przedstawione wahania zwierciadła wody dla całego okresu obserwacji. Ponieważ dobowe wahania zwierciadła nie są przeważnie większe niż 1 cm, na wykresie nie przedstawiono średniej dobowej wartości, ale rzędną zwierciadła z godziny 23.00 każdego dnia. Pozwoliło to uniknąć wpływu, krótkotrwałych obniżen zwierciadła wody wywołanych 1–2 godzinnym pompowaniem. Na wykresach ([fig. 2A–E](#)) przedstawiono także dwie podstawowe wielkości wpływające na intensywność infiltracji: wysokość dobowego opadu i średnią dobową temperaturę powietrza. Pod wykresami zaznaczone zostały dłuższe okresy bezopadowe lub z ujemnymi temperaturami powietrza, czyli prawdopodobne okresy ograniczonej infiltracji. Część z tych okresów, oznaczonych A–F, posłużyła w interpretacji wpływu zmian ciśnienia atmosferycznego na wahania zwierciadła wody podziemnej ([fig. 3](#)).

Na poszczególnych wykresach wahań zwierciadła wody ([fig. 2A–E](#)) przyjęto takie same skale dla temperatury i opadu. Jedynie opad z dnia 7.09.2007 r. przekroczył maksymalną wartość na skali równą 50 mm/d i wyniósł 64 mm/d. Dla wszystkich wykresów starano się dobrać takie same zakresy rzędnych zwierciadła wody: od 200,50 do 201,10 m n.p.m. Dla lat 2006–2009 naturalne wahania zwierciadła wahały się w tym zakresie, jednak wyjątkowo „mokry” rok 2010 charakteryzował się zdecydowanie wyższymi stanami wód podziemnych i zakres skali na wykresie ([fig. 2E](#)) został podwyższony do 201,50 m n.p.m.

Na poszczególnych wykresach ([fig. 2A–E](#)) zaznaczono i oznaczono kolejnymi cyframi rzymskimi charakterystyczne fragmenty wykresów rzędnej zwierciadła wody, którymi posłużono się w dalszej interpretacji. Z interpretacji naturalnych wahań zwierciadła wody wykluczono okresy braku rejestracji danych: 19.03.06–21.06.06 (II na [fig. 2A](#)) i 15.01.07–09.04.07 (I na [fig. 2B](#)) oraz okresy dłuższych pompowań: 15.09.06 (III na [fig. 2A](#)), 12.08.07–6.09.07 (III na [fig. 2B](#)), 7.11.07 (początek IV na [fig. 2B](#)), 10.03.08–27.04.08 (I na [fig. 2C](#)). W tym ostatnim wykluczonym okresie próbne pompowanie trwało jedynie od 10.03.08 do 20.03.08 r. Ponieważ nie wiadomo, czy przyczyną wzniosu zwierciadła wody, który następował aż do 27.04.08 było wyłączenie pompy, a nie opady, które pojawiły się w tym okresie, z interpretacji wykluczono cały ten okres. Z interpretacji wykluczono także okres intensywnego wzniosu zwierciadła w grudniu 2005 r. (I na [fig. 2A](#)), którego nie da się wytłumaczyć intensywnymi opadami w okresie poprzedzającym moment instalacji stanowiska badawczego. Prawdopodobnie wznios ten należy uznać za wynikający z rozruchu stanowiska.

WPLYW WYSOKOŚCI OPADÓW I TEMPERATURY POWIETRZA NA WAHANIA ZWIERCIADŁA WODY

Amplitudy naturalnych wahań zwierciadła wody są bezpośrednio związane z intensywnością zasilania opadami atmosferycznymi. Maksymalne i minimalne oraz średnie (obliczone jako średnia arytmetyczna) rzędne zwierciadła wody podziemnej i amplitudy wahań dla poszczególnych lat kalendarzowych wraz z wysokością rocznych opadów zostały przedstawione w [tabeli 1](#).

Amplitudy wahań zwierciadła wody okazały się wprost proporcjonalne do wielkości rocznego opadu. Zależności takiej nie wykazały średnie rzędne zwierciadła wody. Świadczyć to może o zależności zmian położenia zwierciadła wody przede wszystkim od intensywności opadów i ich rozkładu w ciągu roku. Najlepiej obrazuje to rozkład opadów w roku 2008, w którym pomimo zdecydowanie niższych od przeciętnych opadów rocznych (dla Krakowa wy-

Tabela 1

Charakterystyka wahań zwierciadła wody podziemnej w kolejnych latach pomiarów wraz z sumarycznym opadem rocznym
Characterization of groundwater level fluctuation and total annual precipitation in following years of measurements

Rok kalendarzowy	Maksymalna rzędna zwierciadła wody $H_{\max}$ [m n.p.m.]	Minimalna rzędna zwierciadła wody $H_{\min}$ [m n.p.m.]	Średnia rzędna zwierciadła wody H_{sr} [m n.p.m.]	Amplituda wahań zwierciadła wody $H_{\max}-H_{\min}$ [m]	Sumaryczny opad roczny [mm/rok]
2006*	200,75	200,52	200,70	0,23	614,9
2007*	201,03	200,59	200,75	0,44	816,9
2008	200,99	200,76	200,86	0,23	601,2
2009	200,73	201,07	200,90	0,34	736,1
2010	200,83	201,46	201,00	0,63	1023,6

* – niepełny odczyt z rejestratora

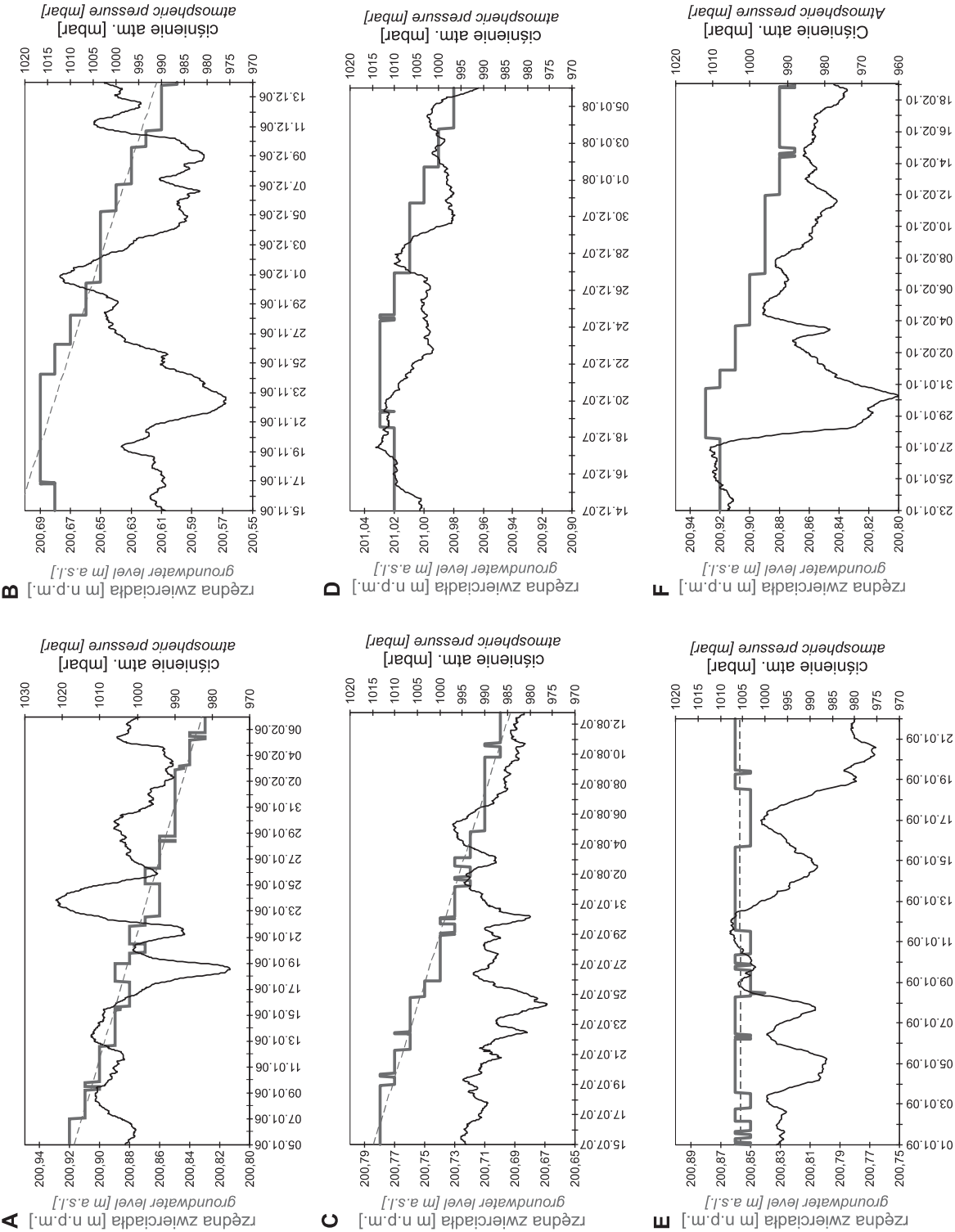


Fig. 3. Zmiany położenia zwierciadła wody gruntowej i wahania ciśnienia atmosferycznego dla wybranych okresów o ograniczonej infiltracji

The fluctuations of groundwater level with atmospheric pressure changes for the selected periods of low infiltration

noszą one ~ 670 mm/rok), nie udało się wyznaczyć żadnych dłuższych okresów z ograniczoną infiltracją, czyli bez opadów lub z ujemną temperaturą powietrza (fig. 2C).

Na wszystkich wykresach obrazujących wahania zwierciadła (fig. 2A–E) widać wyraźnie, że największe naturalne wzniosy zwierciadła wody podziemnej następowały bezpośrednio po opadach (IV na fig. 2A; II i IV na fig. 2B; II–V na fig. 2C; II–VI na fig. 2D; II–V na fig. 2E) lub roztopach (I na fig. 2D oraz I i VI na fig. 2E). Reakcja zwierciadła wody podziemnej na wysoki opad jest dość szybka i najczęściej następuje w kolejnym dniu po opadzie. Przykładowo 13.08.2007 r. po opadzie w wysokości 47 mm/d zwierciadło wzrosło znacznie nawet tego samego dnia (II – fig. 2B). Niestety nie można jednoznacznie ocenić szybkości reakcji zwierciadła wody na ekstremalnie wysoki opad, który miał miejsce w dniach 6–8.09.2007 r. ze względu na realizowane w tym czasie próbną pompowanie (III na fig. 2B). W ciągu tych trzech dni spadło 150 mm deszczu, odpowiednio: 32,0; 64,0; 45,7 mm/d, czyli więcej niż w okresie 16–19.05.2010 r. (II na fig. 2E), kiedy sumaryczny opad wyniósł 120 mm. W przypadku sytuacji z września 2007 r., wznios zwierciadła nie był prawdopodobnie aż tak wysoki, jak w maju 2010, gdyż poprzedzał go dość długi okres bezopadowy. Prawdopodobnie znaczny wznios zwierciadła w listopadzie 2007 (IV na fig. 2B) jest efektem tych intensywnych opadów z września tego roku, kiedy wpływ wzmożonego zasilania został zniwelowany depresją zwierciadła wywołaną pompowaniem studni. Praktycznie natychmiastowy wznios zwierciadła miał miejsce po opadzie 24,4 mm deszczu w dniu 4.07.2008 (II na fig. 2C) i 25,9 mm w dniu 26.07.2008 roku (III na fig. 2C), przy czym dla tej drugiej sytuacji amplituda wzniosu była zdecydowanie wyższa ze względu na 2 poprzedzające dni ze znaczącym opadem. Podobnie natychmiastową reakcję zwierciadła wody odnotowano w roku 2009, po opadzie 20,3 mm deszczu w dniu 30.05.09 (II na fig. 2D), 21,6 mm w dniu 20.06.09 r. (III na fig. 2D), kiedy wysoki poziom zwierciadła wody utrzymał się dłużej ze względu na porównywalnie wysokie opady w dniach 21, 23 i 24.06.09 r.. Natychmiastowy, ale krótkotrwały wzrost poziom położenia zwierciadła wody miał miejsce 23.08.2009 r., gdy w trakcie krótkiego, burzowego opadu spadło 32,3 mm deszczu (IV na fig. 2D). Nie wielki, bo jedynie 2 cm wznios zwierciadła wody w efekcie tak wysokiego opadu jest podobny do sytuacji z 4.09.2008 (opad 25 mm/d) i 17.08.2010 r. (opad 42,4 mm/d), gdy jednocześnie wysokie opady nie wywołały istotnej zmiany w położeniu zwierciadła wody. Przyczyną tego braku reakcji może być silne zróżnicowanie wielkości lokalnego opadu burzowego, pomiędzy miejscem pomiaru (deszczomierz na stanowisku badawczym) a rejonem zasilania analizowanej czwartorzędowej warstwy wodonośnej, który znajduje się poza obszarem intensywnego zabudowy na północ od stanowiska badawczego (Kleczkowski, 2003). Dodatkowo, w bezpośrednim sąsiedztwie stanowiska badawczego w nadkładzie warstwy wodonośnej znajdują się, zdecydowanie słabiej przepuszczalne od utworów wodonośnych, namuły, które mogą istotnie ograniczać lokalną infiltrację. Wyraźny i szybki wznios zwierciadła w roku 2009 miał jeszcze miejsce

dwukrotnie jesienią po opadzie w wysokości 21,6 mm w dniu 15.10.09 (V na fig. 2D) i 32 mm w dniu 12.11.09 (VI na fig. 2D), ale w obydwu tych przypadkach utrzymywał się przez dłuższy czas. Być może było to spowodowane niższymi temperaturami powietrza ograniczającymi parowanie. Wiele przypadków jednoznacznego wzniosu zwierciadła w efekcie intensywnego dobowego opadu przedstawia wykres dla roku 2010 (fig. 2E). Zależność pomiędzy rzędną zwierciadła wody podziemnej a wysokością dobowego opadu w okresie powodzi w maju i czerwcu 2010 roku (II na fig. 2E) jest szczegółowo zobrazowana na figurze 4B. Największy wznios zwierciadła wody miał miejsce 18.05.10 r. i wyniósł 17 cm. Nastąpił po dwóch dniach intensywnych opadów (16.05.10 – opad wyniósł 43,7 mm/d, 17.05.10 – opad wyniósł 53,6 mm/d). Kolejny gwałtowny wzrost poziomu zwierciadła wody miał miejsce 4.06.10, na drugi dzień po opadzie, który w dniu 2.06.10 r. wyniósł 42,9 mm/d. Wznios zwierciadła wyniósł także 17 cm/d. W dniu 2.06.10 r. rzędna zwierciadła osiągnęła najwyższą wartość w ponad 5-letnim okresie obserwacji i wyniosła ona 201,46 m n.p.m. O 8 cm podniosło się zwierciadło wody bezpośrednio po intensywnym opadzie 47,8 mm deszczu w dniu 28.07.10 r. (III na fig. 2E). W trakcie 3 dni z intensywnymi opadami na przełomie sierpnia i września tego roku poziom wód gruntowych podniósł się w sumie o 10 cm (31.08.10 r. – opad 10,8 mm/d, wznios 4 cm i odpowiednio: 1.09.10 – 35,1 mm/d i 3 cm; 2.09.10 – 12,2 mm/d i 3 cm).

W efekcie roztopów zwierciadło wody podnosiło się bardzo powoli i w dłuższym okresie czasu. I tak w okresie od 24.02.09 do 6.04.09 (41 dni) zwierciadło wody podniosło się o 16 cm (I na fig. 2D), od 19.02.10 do 14.03.10 r. (25 dni), wznios wyniósł 12 cm (I na fig. 2E) a w okresie 7–23.01.1 r. (16 dni) 8 cm (VI na fig. 2E).

WPLYW ZMIAN CIŚNIENIA ATMOSFERYCZNEGO NA WAHANIA ZWIERCIADŁA WODY

W celu wykazania wpływu zmian ciśnienia atmosferycznego na położenie zwierciadła wody wytypowano okresy o ograniczonej infiltracji, za które uznano dłuższe okresy bezopadowe lub z ujemnymi temperaturami powietrza. Zostały one zaznaczone strzałkami pod wykresami wahań zwierciadła na fig. 2. Spośród wyznaczonych 10 okresów, do dalszej interpretacji wybrano 6 i oznaczono od A do F. Zostały one szczegółowo zobrazowane na figurze 3 w postaci wykresów zmienności w czasie rzędnej zwierciadła wody i ciśnienia atmosferycznego, wykonanych na podstawie uśrednionych danych godzinnych.

Na wykresach A, B, C (fig. 3) pokazano sytuację, kiedy zwierciadło wody wyraźnie opada, co podkreśla linia trendu. W tle dominującej tendencji spadkowej można zauważyć niewielkie, maksymalnie 1-centymetrowe wahania zwierciadła (z dokładnością do 1 cm jest prowadzona rejestracja położenia zwierciadła wody), które wykazują mniej (wykres B) lub bardziej wyraźny związek (wykres A i C) ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. Na wykresach nie widać zależno-

ści pomiędzy wielkością skoków ciśnienia a wahaniami zwierciadła. Przykładowo wzrost ciśnienia o prawie 40 milibarów w dniach 22–24.01.06 r. (fig. 3A) spowodował wznios zwierciadła o 1 cm, czyli podobnie jak skok ciśnienia o niepełna 10 mbar w dniach 1–2.08.07 r. (fig. 3C). Często skoki ciśnienia powodują nie tyle wznios zwierciadła, co spowolniają jego spadek, jak przykładowo w okresie od 30.11.06 do 4.12.06 (fig. 3B), czy od 5.08.07 do 9.08.07 r. (fig. 3C). Na wykresach można też zaobserwować przesunięcie w fazie (1–2 dniowe opóźnienie) reakcji zwierciadła wody na wahania ciśnienia. Widać to szczególnie dla okresu ze stycznia 2009 r., kiedy zwierciadło przez dłuższy okres czasu pozostawało na tym samym poziomie (fig. 3E). Największemu spadkowi ciśnienia (ponad 50 mbar) widocznemu na figurze 3F towarzyszy obniżenie zwierciadła wody jedynie o 2 cm w ciągu dwóch dni.

WAHANIA ZWIERCIADŁA WÓD PODZIEMNYCH A STANY WÓD W RZECE

Warstwa wodonośna ujmowana przez studnię i piezometry stanowiska badawczego jest drenowana przez rzekę Wisłę, odległą w linii prostej od stanowiska o około 1300 m (fig. 1). Ponieważ koryto Wisły znajduje się kilka metrów poniżej rzędnej terenu na stanowisku badawczym, zmiana drenującego charakteru rzeki jest możliwa jedynie przy wysokich stanach wód rzecznych. Taka sytuacja miała miejsce w okresie powodzi w maju i czerwcu 2010. Na figurze 4 porównano jak zmieniały się stany wód rzecznych (fig. 4A) i wód podziemnych (fig. 4B) na tle sumarycznych opadów dobowych w maju i czerwcu 2010 roku.

Dane o stanach wód w Wiśle dla przekroju Bielany zostały uzyskane ze strony internetowej: www.amator.com.pl.

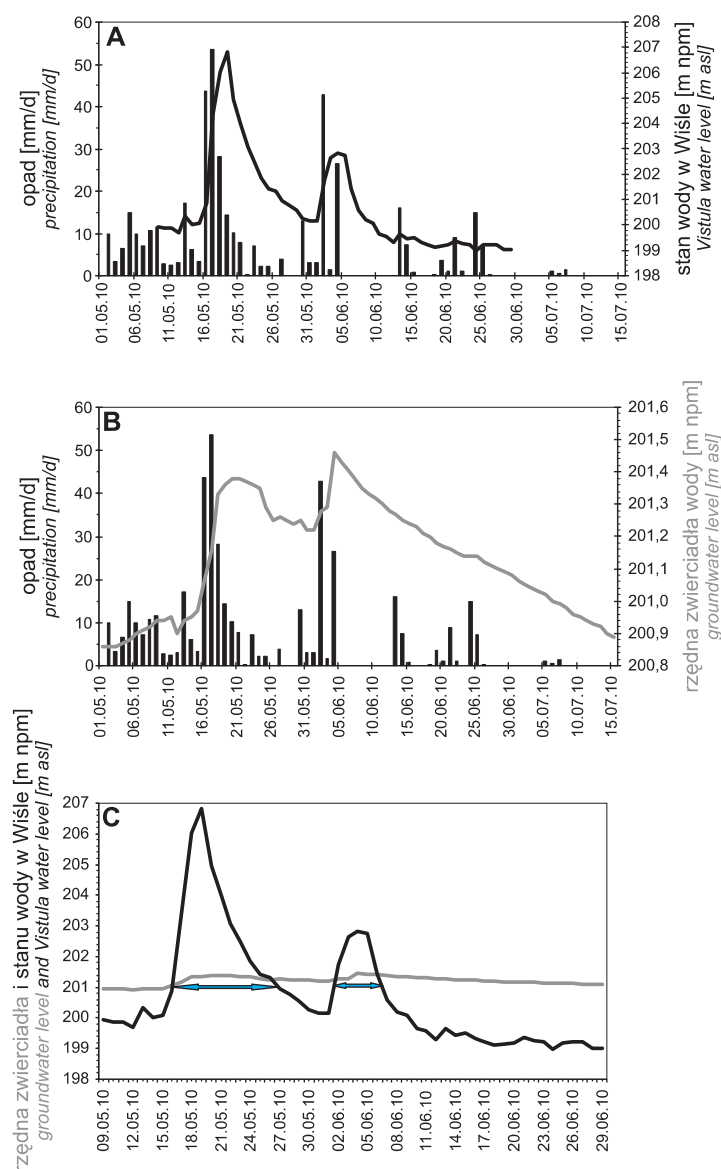


Fig. 4. Zmiany położenia zwierciadła wody gruntowej i stanów wody w Wiśle w okresie powodzi w maju i czerwcu 2010

The fluctuations of groundwater level and Vistula water level during the flood periods in May and June 2010

Ponieważ amplitudy stanów wód w Wiśle w analizowanym okresie dochodziły do 8 metrów, a zwierciadło wody podniosło się o kilkadziesiąt centymetrów, to na [figurze 4C](#) rzędne zwierciadła wody w Wiśle i zwierciadła wody podziemnej przedstawiono na wspólnym wykresie o tej samej skali.

Przebieg ekstremalnych stanów zwierciadła wód podziemnych i powierzchniowych praktycznie pokrywa się. Fala powodziowa na Wiśle była zdecydowanie wyższa w maju (maksimum – 18.05.10 r.) niż na początku czerwca (maksimum – 4.06.10 r.). Przeciwnie było w przypadku wód gruntowych. Opady na początku czerwca były co prawda niższe niż w maju, ale zwierciadło wody gruntowej obniżyło

się nieznacznie po przejściu pierwszej fali powodziowej, w efekcie czego, zdecydowanie mniejszy wznios zwierciadła w dniach 3–4.06.10 (24 cm) niż w okresie 15–19.05.10 r. (45 cm) wywołał ekstremalny stan zwierciadła wody podziemnej równy 201,38 m n.p.m. Praktycznie, równoczesny wznios zwierciadła wód gruntowych i stanów wody w Wiśle świadczą nie tyle o rozplywie (infiltracji brzegowej) wód rzecznych, co o zablokowaniu odpływu podziemnego. Na [figurze 4C](#) zaznaczono okresy, w których rzędne zwierciadła wód w rzece były wyższe od poziomu wód podziemnych i uniemożliwiały odpływ gruntowy.

WNIOSKI

Płytkie wody gruntowe reagują bardzo szybko na zwiększoną infiltrację. Wyrazny wznios zwierciadła wody obserwowany był już na 1–2 dni po intensywnym opadzie. Jeśli opad nie był incydentalny, ale poprzedzony dłuższym okresem z opadami to amplituda tego wzniosu mogła wynieść kilka lub nawet kilkanaście centymetrów. Roztopy wywołują powolne i długotrwałe wznoszenie się zwierciadła wody gruntowej.

Zmiany ciśnienia atmosferycznego nie mają istotnego wpływu na wahania zwierciadła wód gruntowych.

Przy stanach powodziowych, gdy skutek spływu powierzchniowego rzędna zwierciadła wody w rzece przewyż-

sza rzędna zwierciadła wód gruntowych, następuje zablokowanie odpływu podziemnego i ma miejsce prawie równoczesny z wodami powierzchniowymi wznios wód gruntowych. Dynamika tego wzniosu jest zdecydowanie szybsza niż w sytuacjach wywołanych jedynie wzmożoną infiltracją, a jego amplituda osiąga kilkadziesiąt centymetrów.

Praca stanowi część badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH w Krakowie – umowa 11.11.140.139.

LITERATURA

- DAWYDOW L.K., DMITRIJEWA A.A., KONKINA N.G., 1979 — Hydrologia ogólna. PWN Warszawa.
- DUDA R., HAŁADUS A., WITCZAK S., 1997 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, Arkusz Kraków (973) z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S., 2003 — Kształtowanie chemizmu czwartorzędowych wód podziemnych Krakowa 1870–2002; Tendencje dalszych zmian. Projekt Badawczy KBN Nr 9T12B01219, WGGiOŚ AGH Kraków.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PLECZYŃSKI J., 1981 — Odnawialność zasobów wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.
- ŻUREK A., CZOP M., 2010 — Modelowanie warunków przepływu i przekształceń składu chemicznego wód opadowych w trakcie procesu infiltracji, na przykładzie doświadczenia lizymetrycznego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **442**: 181–188.
- ŻUREK A., CZUDEK Ł., 2007 — Pionowa zmienność parametrów hydrogeologicznych w czwartorzędowym zbiorniku wód podziemnych (GZWP 450 – Dolina rzeki Wisła) na przykładzie profilu studni badawczej z poletka doświadczalnego AGH. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 13, cz. 2: 389–399. AGH Kraków.

SUMMARY

In the paper are presented the results of groundwater level measurements in sandy and gravelly the Quaternary aquifer which have been realized since the end of November 2005 in the research station at AGH in Krakow ([Fig. 1](#)). Water level gauges were installed in 3 piezometers. Water level

data are recorded every hour. The influence of precipitation duration and intensity on natural groundwater fluctuations was analyzed ([Fig. 2](#)). Groundwater fluctuations amplitude is greater for the years of higher annual precipitation ([Tab. 1](#)). Groundwater level reactions on precipitation (rain)

are quickly (after 1–2 days). The effects of atmospheric pressure changes on water level for the periods of low infiltration (Fig. 3) are very leak. The influence of flood waves on

extreme water table increases in May and June 2010 is suggested (Fig. 4).