

## WYNIKI BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH W STREFIE WYSTĘPOWANIA GŁĘBOKIEJ WIELOLETNIEJ ZMARZLINY W OTWORZE WIERTNICZYM UDRYŃ PIG 1

### RESULTS OF HYDROGEOLOGICAL RESEARCH OF THE DEEP PERMAFROST ZONE IN THE UDRYŃ PIG 1 BOREHOLE

MARCIN HONCZARUK<sup>1</sup>, ŁUKASZ ŚLIWIŃSKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań hydrogeologicznych w otworze badawczym Udryń PIG 1. Otwór odwiercono w celu zweryfikowania hipotezy występowania plejstocenijskiej wieloletniej zmarzliny na obszarze suwalskiego masywu anortozytowego (SMA). Zafiltrowano w nim warstwę wodonośną piasków drobnoziarnistych kredy dolnej. W różnych odstępach czasu wykonano profilowania temperaturowe, prowadzone w trakcie stabilizacji termicznej otworu zarówno przed, jak i po pompowaniu pomiarowym. Zarejestrowano minimalną temperaturę wody w otworze, wynoszącą  $-0,395^{\circ}\text{C}$  na głębokości 383,0 m. Wysokie wartości współczynnika oporów przepływu sugerują zlodzenie części warstwy wodonośnej piasków drobnoziarnistych albu, której jedynie część bierze udział w dopływie wody do filtra. Szybko przebiegająca stabilizacja depresji wskazuje na możliwość występowania procesu przemiany fazowej lodu w wodę na skutek spadku ciśnienia i wymuszenia przepływu w warstwie wodonośnej. Hipotezę o występowaniu wieloletniej zmarzliny jednoznacznie potwierdzają wyniki analiz chemicznych pobranych próbek wody. Mineralizacja ogólna, skład oraz typ hydrochemiczny i zawartość izotopu  $^{18}\text{O}$  wskazują na metamorfizm kriogeniczny.

**Słowa kluczowe:** wieloletnia zmarzlina, profilowanie temperaturowe, pompowanie badawcze.

**Abstract.** This paper presents the results of hydrogeological research carried out in the Udryń PIG 1 borehole. It was drilled in order to verify the hypothesis of the occurrence of Pleistocene permafrost in the Suwalki anorthosite massif. The borehole was filtered in Lower Cretaceous fine-grained sand aquifer. Temperature profiling was performed at various intervals, during the thermal stabilization of the borehole, both before and after the pumping test. Minimum water temperature of  $-0.395^{\circ}\text{C}$  was recorded in the well at a depth of 383.0 m below the surface. High values of the flow resistance coefficient suggest that the Albian fine-grained sand aquifer is iced, which implies that only part of the water is supplied to the screen. Fast stabilization of drawdown suggests the possibility of a phase transformation process of ice into water by lowering the pressure and forcing the water flow in the aquifer. The hypothesis of the existence of permafrost is unequivocally confirmed by the results of chemical analysis of water samples. The general mineralization, composition and hydrochemical type of the water and  $^{18}\text{O}$  isotope content suggest cryogenic metamorphism.

**Key words:** permafrost, temperature profiling, pumping test.

### WSTĘP

Otwór badawczy Udryń PIG 1 o głębokości 450,0 m wykonany został w obrębie centralnej części suwalskiego masywu anortozytowego (SMA). Administracyjnie znajduje się on we wsi Szypliszki na terenie gminy Szypliszki (powiat suwalski). Celem wykonania tego otworu było zbadanie za-

pisu czwartorzędowych zmian klimatycznych przełomu plejstocenu oraz holocenu w ramach zadania: „Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski” (Szewczyk i in., 2010; Honczaruk i in., 2011). Zadanie to zrealizo-

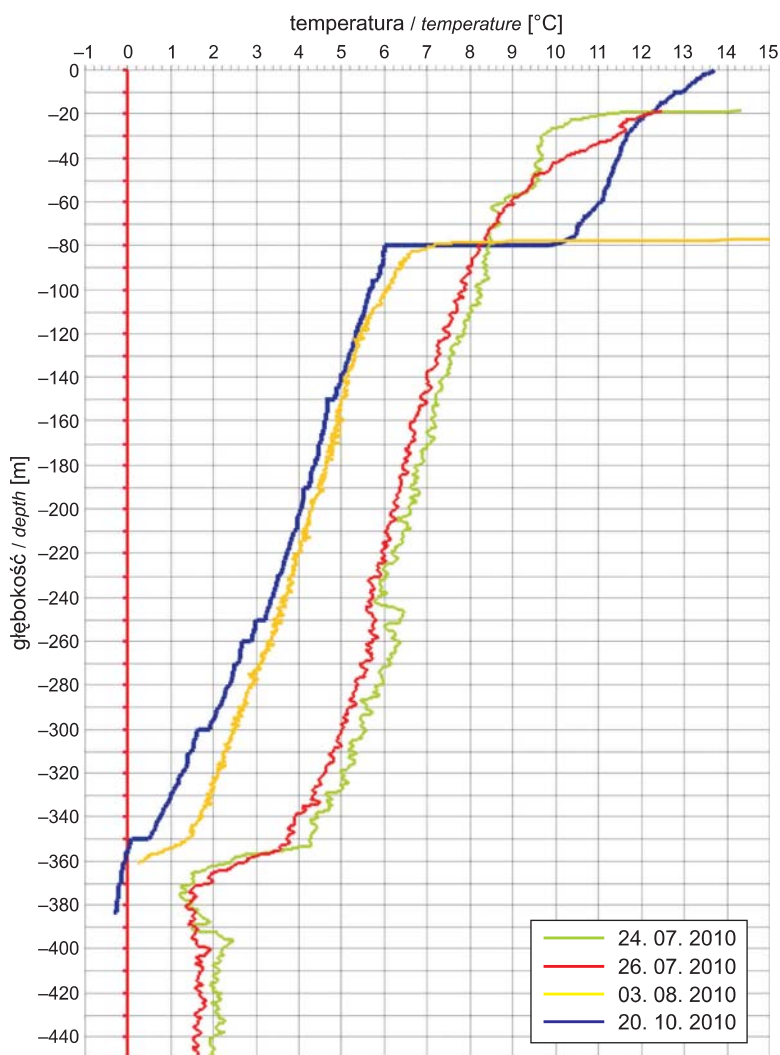
<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;  
e-mail: marcin.honczaruk@pgi.gov.pl, lukasz.sliwinski@pgi.gov.pl

wano na zlecenie Ministerstwa Środowiska, zgodnie z umową zawartą z Państwowym Instytutem Geologicznym – Państwowym Instytutem Badawczym w Warszawie. Po uzyskaniu pozytywnych wyników próbnych pompowań hydrogeologicznych poziomu wodonośnego kredy dolnej, otwór ten został włączony do ogólnokrajowej sieci Monitoringu Wód Podziemnych (MWP, dawny SOH) jako punkt obserwacyjny II rzędu. Jest to pierwszy hydrogeologiczny otwór obserwacyjny, obejmujący poziom kredy dolnej na obszarze Polski północno-wschodniej.

Wyniki badań przeprowadzonych w otworze Udryń PIG 1 w spektakularny sposób potwierdzają hipotezę o zachowanej współczesnej głębokiej wieloletniej zmarzlinie, związanej z genezą anomalii termiczno-hydrogeochemicznej rejonu Krzemianka–Udryń (Szewczyk, 2002; Szewczyk i in., 2003). Istnienie w przeszłości wieloletniej zmarzliny na tym obszarze było zasygnalizowane zarówno wynikami badań hydrochemicznych (Michalski, 1985; Liszkowska, 1988), jak

i głębokościową inwersją temperatury, obserwowaną w trakcie profilowań termicznych (Szewczyk i in., 2002; Nowicki, Szewczyk, 2003; Šafanda i in., 2004). Istnienie inwersji temperatury zarejestrowanej w latach 70. ubiegłego wieku było pierwotnie niesłusznie wiązane z infiltracją wychłodzonych wód postglacjalnych (Majorowicz, 1976).

Wykonany otwór, dzięki zaprojektowanej konstrukcji, umożliwił przeprowadzenie unikatowych badań hydrogeologicznych w warunkach występowania wspomnianej wyżej wieloletniej zmarzliny, w obrębie warstwy wodonośnej zbudowanej z piasków drobnoziarnistych albu. W zakresie badań znalazły się m.in. profilowania temperaturowe przeprowadzone w trakcie stabilizacji termicznej, wykonane po odwierceniu otworu, a także przed i po pompowaniu parametrycznym. Strop wieloletniej zmarzliny wyraźnie zaznacza się gwałtownym spadkiem temperatury, odnotowywanym na głębokości 356,0 m (fig. 1). Minimalna zarejestrowana wartość wyniosła  $-0,395^{\circ}\text{C}$  na głębokości 383,0 m.

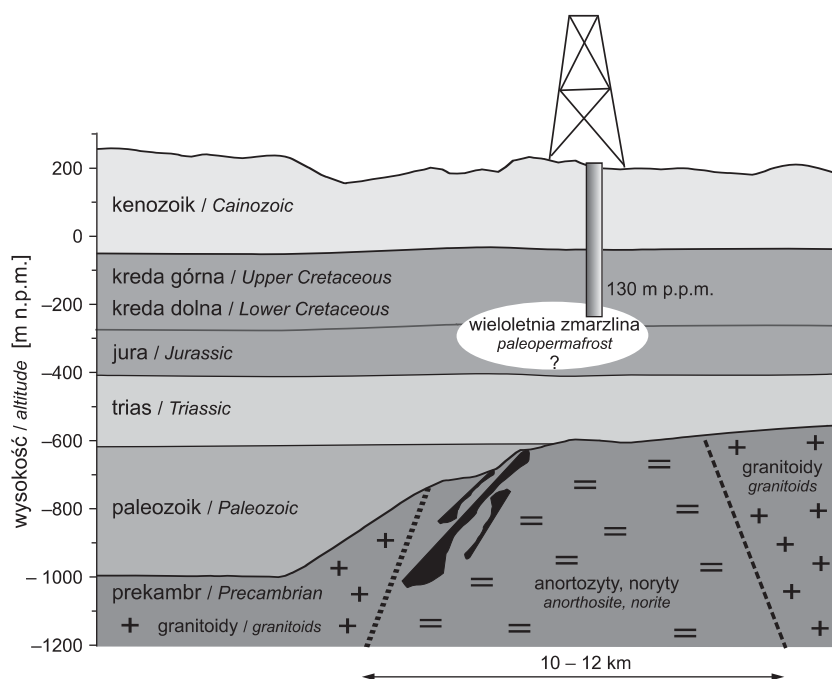


**Fig. 1. Wyniki profilowań temperatury w otworze Udryń PIG 1 w trakcie stabilizacji termicznej**

Results of the temperature profiling made in the Udryń PIG 1 borehole during thermal stabilization

**Fig. 2. Schematyczny profil geologiczny obszaru suwalskiego masywu anortozytowego (SMA) z przewidywaną lokalizacją wieloletniej zmarzliny (Szewczyk i in., 2010)**

Schematic geological section of the Suwałki Anorthosite Massif with predicted permafrost location (Szewczyk *et al.*, 2010)



Udryń to jak dotychczas jedyne znane w Europie środkowej miejsce, w którym stwierdzono w sposób bezpośredni głęboko występującą wieloletnią zmarzlinę. Jest to jednocześnie dowód na bardzo niskie średnie roczne temperatury powietrza na obszarze Europy środkowej (Polski) w przeważającym okresie późnego plejstocenu. Jak się okazało (Szewczyk, 2002; Szewczyk i in., 2002; Šafanda i in., 2004), niskie temperatury powierzchniowe w połączeniu z niskimi

wartościami ziemskiego strumienia ciepłego na obszarze SMA były bezpośrednim powodem pojawienia się ujemnych temperatur oraz powstawaniem głębokiej wieloletniej zmarzliny (fig. 2). Niezależne badania hydrogeologiczne potwierdzały już wcześniej istnienie wód wglębnych z wyraźnymi śladami przeobrażeń kriogenicznych, które są dla wieloletniej zmarzliny charakterystyczne (Michalski, 1985; Duchnowski, Michalski, 1987; Leśniak, 2010).

## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ REJONU OTWORU UDRYŃ PIG 1

Otwór badawczy Udryń PIG 1 wykonany został w Polsce północno-wschodniej. Dokumentuje on do głębokości 450,0 m utwory pokrywy osadowej SMA, będącego częścią rozległego wyniesienia mazursko-suwalskiego, które z kolei stanowi element podłoża krystalicznego platformy wschodnioeuropejskiej. Podłoże krystaliczne tej struktury znajduje się na wysokości około 500 m p.p.m. w rejonie Suwałk i zapada w kierunku N i NNW do około 950–1000 m p.p.m. w rejonie jeziora Hańcza (fig. 3). Masyw jest zbudowany głównie z anortozytu, którego peryferyczne partie zostały wzbogacone w minerały maficzne, wykształcone jako noryty i gabro-noryty z soczewkami i gniazdami rudy tytanomagnetytowej (Ryka i in., 1982; Ryka, 1993).

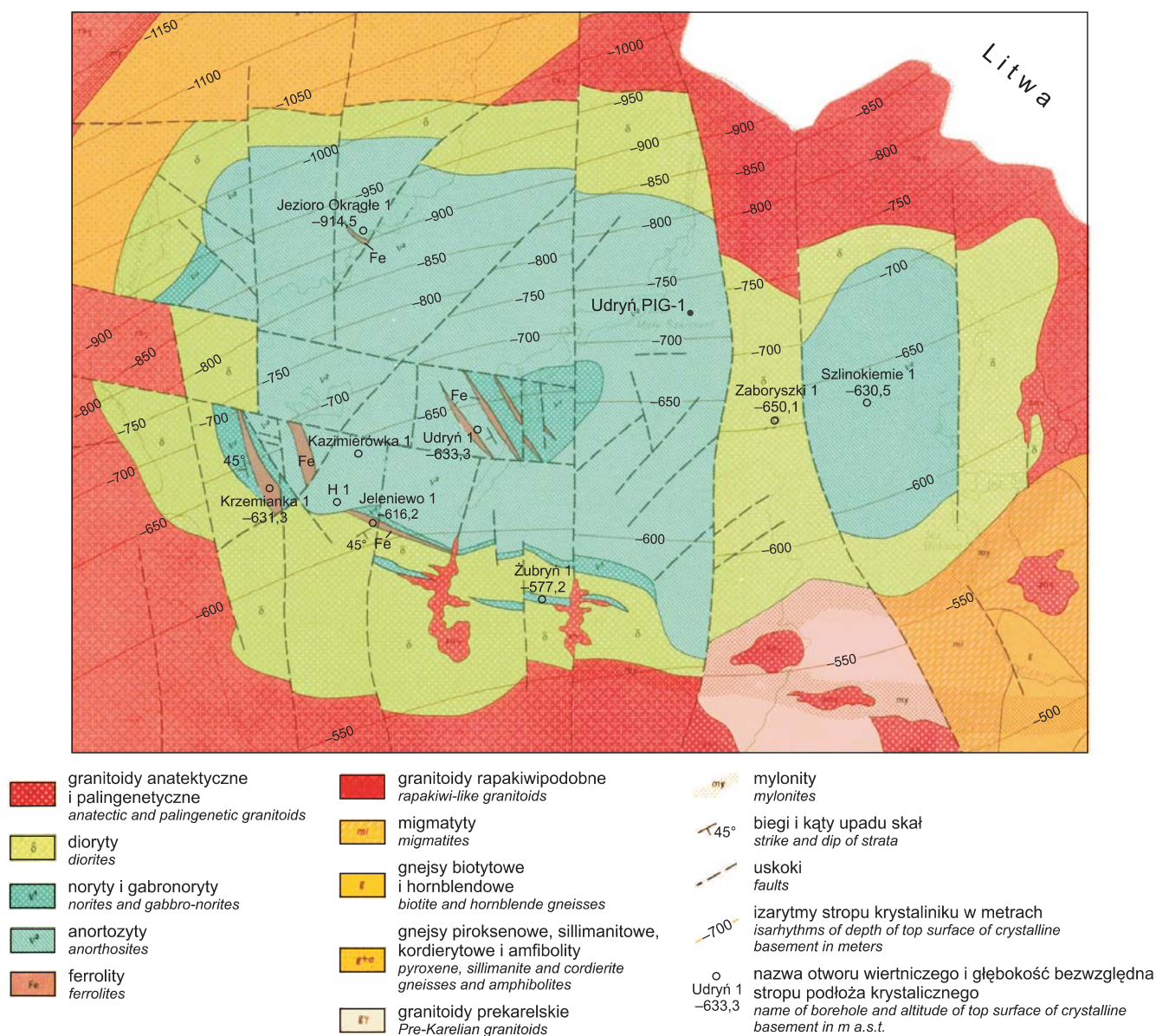
Skały pokrywy osadowej, z uwagi na zróżnicowaną powierzchnię morfologiczną podłoża, a także długotrwałe okresy erozji, w chwili obecnej nie stanowią zwartej pokrywy. Kompleks osadowy zbudowany jest z utworów: wendu (piaskowce drobnoziarniste z wkładkami ilasto-mułłowcowymi), paleozoiku – od kambru po perm (tylko na skłonach garbu mazurskiego, ponieważ w części centralnej zostały ścięte i przykryte przez utwory młodsze), mezozoiku (trias

dolny, jura środkowa i górna, kreda dolna i górna), paleogenu i neogenu (erozja przedplejstocenska w wielu miejscach pozbawiła omawiany rejon utworów tego wieku) oraz czwartorzędu (miąższość nawet ponad 250 m – otwór Suwałki IG 1) (Znosko, 1973).

Najstarszymi osadami, nawierconymi w otworze Udryń PIG 1, są drobnoziarniste osady kredowe (utwory albu środkowego i cenomanu). Są to w spągowej części słabo zdiagenezowane mułowce i mułki z glaukonitem oraz wyżej leżące piaskowce i piaski z glaukonitem. Uziarnienie opisywanych osadów maleje ku spągowi. Ujętą w otworze warstwą wodonośną są utwory piaszczyste kredy dolnej.

Nad osadami albu górnego występuje niewielkiej, lecz dość jednolitej regionalnie, miąższości (około 2 m), warstwa szarych margli piaszczystych z glaukonitem. Niekiedy margle przechodzą obocznie w zwarte wapnienie silnie piaszczyste, glaukonitowe lub piaskowce glaukonitowe silnie wapniste.

Powyżej znajdują się węglanowe osady kredy górnej, reprezentowane przez: wapnienie z krzemieniami, kredę piaszczystą oraz gezy i gezy margliste, zaliczane do turonu,



**Fig. 3. Budowa podłoża krystalicznego suwalskiego masywu anortozytowego (SMA) (Ryka i in., 1982) z lokalizacją otworu Udryń PIG 1**

Structure of the crystalline basement of the Suwałki Anorthosite Massif (Ryka *et al.*, 1982) with location of the Udryń PIG 1 borehole

kampanu i mastrychtu górnego. Gezy margliste i piaszczyste mastrychtu górnego w sposób ciągle przechodzą w utwory danu i paleocenu (montu), tworząc dwa różniące się ogniwa – dolne, reprezentowane przez jasnoszare gezy margliste, lekkie i porowate oraz górne – gezy piaszczyste, szare i ciemnoszare, wapniste z glaukonitem i muskowitem, również lekkie i porowate. Pierwotna pokrywa gez dano-paleocenu została w znacznym stopniu zerodowana.

Osady eocenu górnego występują w postaci mułowców, mułków, ilów, piasków i piaskowców glaukonitowych.

Na omawianym obszarze zaznacza się przerwa sedimentacyjna, obejmująca neogen górny i preplejstocen (Ber, 2000).

Mięszkość utworów czwartorzędowych w otworze Udryń PIG 1 wynosi 241,8 m. Są to przeważnie osady drobnoziarniste, od piasków pylastych po mułki ilaste za-stoiskowe. Podrzednie wśród osadów plejstoceni- skich występują gliny, które tworzą tylko dwa poziomy o maksymalnej mięszkości 15 m. Jedynie w stropowej partii osadów plejstoceni- skich występują piaski średnio- i drobno- ziarniste.

## CHARAKTERYSTYKA I ROZPOZNANIE WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Zgodnie z regionalizacją hydrogeologiczną (Paczyński, Sadurski, red., 2007) otwór badawczy Udryń PIG 1 znajduje się w obrębie Regionu Narwi, Pregoły i Niemna. Kredowe piętro wodonośne jest bardzo słabo rozpoznane. Wody podziemne występują w słabo spękanych marglach, opokach, gżach i kredzie piszącej kredy górnej oraz w dolnokredowych piaskowcach wapnistych i piaskach glaukonitowych, charakteryzujących się wyższą wodoprzepuszczalnością. Zasilanie wód podziemnych odbywa się na drodze infiltracji opadów atmosferycznych do poziomów wód czwartorzędowego piętra wodonośnego, a następnie w wyniku przesiąkania przez słabo przepuszczalne, plejstocenijskie gliny piaszczyste, piaski pylaste, mułki piaszczyste i ilaste oraz paleogene mułki i mułowce margliste do głębszych poziomów wodonośnych. Drenaż wód podziemnych następuje w obrębie regionu w wyniku dopływu lateralnego oraz ascenzji do dolin rzecznych.

Obszar badań charakteryzuje się słabym rozpoznaniem warunków hydrogeologicznych mezozoicznych pięter wodonośnych (Mitrega i in., 1993). Najpełniejszych danych dostarczają otwory badawcze wykonane w celu rozpoznania i udokumentowania złóż rud żelaza Krzemianka–Udryń. Należą do nich: Krzemianka IGH 1, Krzemianka 24, Krzemianka 48, Udryń IG 7 oraz Udryń IG 8. W rejonie złoża występujące bezpośrednio na zwietrzeli nowej powierzchni wapieni i margli jurajskich utwory albu środkowego i górnego składają się z czterech, a lokalnie pięciu kompleksów piaszczysto-mułowcowych o łącznej miąższości 62–72 m. Strop warstwy wodonośnej ujętej otworem Udryń PIG 1 rozpoznany został na głębokości 390–440 m z tendencją do wypływania się w kie-

runku północno-wschodnim (Szewczyk i in., 2010; Honczaruk i in., 2011), a jej sumaryczna miąższość osiąga 15–20 m. Ustabilizowane zwierciadło wody zostało udokumentowane na wysokości 144,4–145,8 m n.p.m. Przepływ wody odbywa się z północnego wschodu na południowy zachód.

W miejscowości Sidorówka znajduje się stacja hydrogeologiczna, należąca do sieci Monitoringu Wód Podziemnych PIG-PIB, składająca się z dziewięciu studni, z których dwie również ujmują utwory mezozoiczne. W otworze I/311/5 na głębokości 263,0 m nawiercono margle górno-kredowe przechodzące w kredę piszącą. Zwierciadło naporowe stwierdzono w obrębie margli na głębokości 300,0 m, zaś ustabilizowane na głębokości 51,67 m – wysokość 159,17 m n.p.m. (pomiar z dn. 05.08.2010.). W studni I/311/9 strop wapieni jury górnej występuje na głębokości 471,0 m. Ustabilizowane zwierciadło wody, pomierzone dnia 05.08.2010, występowało na głębokości 66,64 m (wysokość 144,0 m n.p.m.).

Wykonany w 2010 r. otwór badawczy Udryń PIG 1 ujmuje warstwę wodonośną nawierconą na głębokości 397,4–417,0 m o miąższości 19,6 m. Jej stropową część (0,6 m) stanowią cenomańskie piaskowce wapniste, natomiast poniżej występują piaski drobnoziarniste albu. Pod nimi znajdują się mułki piaszczyste glaukonitowe, które na głębokości 425,0 m płynnie przechodzą w mułki. Łączna miąższość osadów tego piętra stratygraficznego, nawierconych w otworze badawczym, wynosi 52 m. Zwierciadło wody pomierzone przed pompowaniem parametrycznym w dniu 05.08.2010. stabilizowało się na głębokości 76,38 m, tj. na wysokości 145,62 m n.p.m.

### SCHEMAT KONSTRUKCJI OTWORU

Prace wiertnicze prowadzono w czterech kolumnach rur, zaczynając od 18 5/8" (473 mm), a kończąc na 7 5/8" (193 mm). Średnica końcowa otworu wynosi 6 3/4" (171 mm). Zastosowano filtr szczelinowy o średnicy 5" (127 mm) z siatką filtracyjną i częścią roboczą o długości 17,80 m. Pod butem rury podfiltrowej wykonano poduszkę z obsypki filtracyjnej o frakcji uziarnienia 1–2 mm, którą zastosowano również w strefie między filtrem a warstwą wodonośną. Na głębokości 367,2–369,4 m wykonano uszczelnienie z kompaktynu (fig. 4).

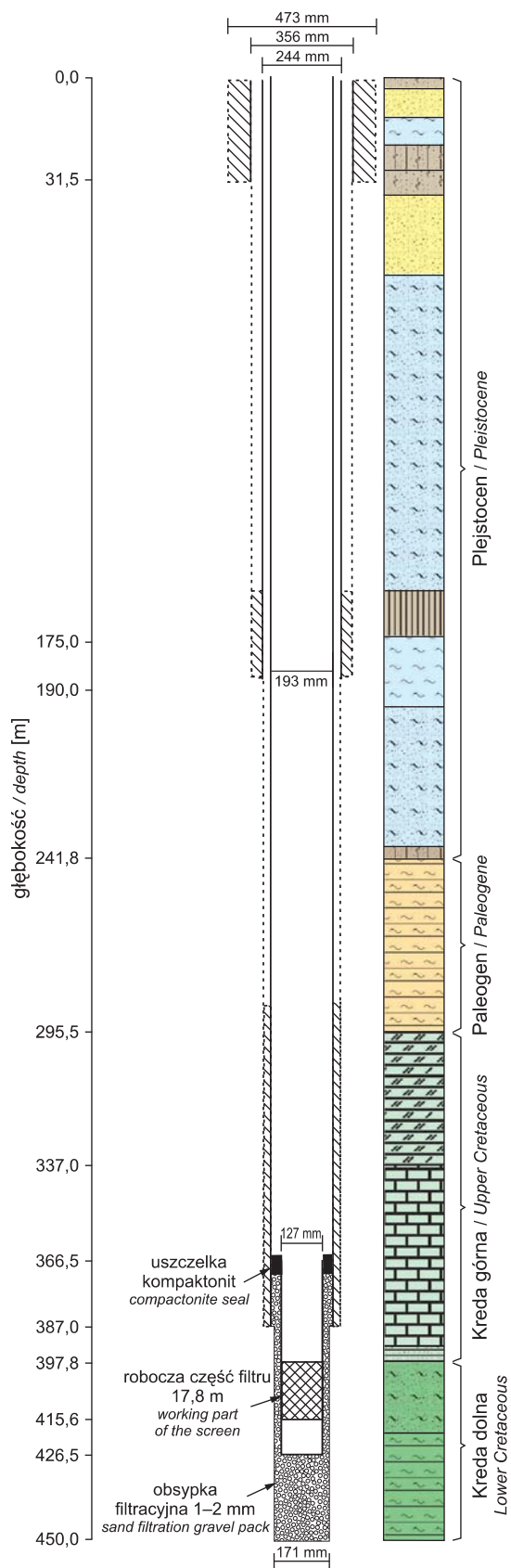
W trakcie prowadzonych prac wiertniczych pobrano do analizy granulometrycznej próbki piasków drobnoziarnistych albu z następujących głębokości:

398,4–398,5 m –  $k = 1,3 \cdot 10^{-4}$  m/s

402,4–402,5 m –  $k = 1,5 \cdot 10^{-4}$  m/s

408,5–408,6 m –  $k = 4,7 \cdot 10^{-5}$  m/s

Do wyznaczenia średniej wartości współczynnika filtracji  $k_{sr}$  wykorzystano empiryczny wzór amerykański. Wartość ta wynosi  $1,09 \cdot 10^{-4}$  m/s. Pozwoliła ona w dalszym etapie prac na wyznaczenie wydajności dopuszczalnej, wynikającej z konstrukcji otworu oraz litologii ujętej warstwy wodonośnej. Ze względu na badawczy charakter otworu Udryń PIG 1 przyjęto schemat studni pracującej okresowo, zgodnie z którym uzyskano dopuszczalną prędkość wlotową wody na filtrze  $V_{dop} = 2,51$  m/h i wynikającą z niej wydajność dopuszczalną  $Q_{dop} = 24,01$  m<sup>3</sup>/h.

**Schemat zarurowania:**

- 0,0–12,0 m kolumna rur 18 5/8" (473 mm)
- 0,0–31,5 m kolumna rur 14" (356 mm)
- 0,0–185,1 m kolumna rur 9 5/8" (244 mm)
- 0,0–387,0 m kolumna rur 7 5/8" (193 mm)
- 387,0–450,0 m rdzeniowanie koronką 6 3/4" (171 mm)  
– średnica końcowa otworu

**Pipe's scheme:**

- 0.0–12.0 m pipe's column of the diameter 18 5/8" (473 mm)
- 0.0–31.5 m pipe's column of the diameter 14" (356 mm)
- 0.0–185.1 m pipe's column of the diameter 9 5/8" (244 mm)
- 0.0–387.0 m pipe's column of the diameter 7 5/8" (193 mm)
- 387.0–450.0 m drilling with the core cutter of the diameter 6 3/4" (171 mm) – final diameter of the borehole

**Konstrukcja filtru:**

- 366,4–426,5 m kolumna filtrowa 5" (127 mm)
- 31,39 m rura nadfiltrowa
- 17,80 m część robocza filtru
- 10,90 m rura podfiltrowa
- 367,2–369,4 m uszczelka z kompaktynitu
- 426,5–450,0 m poduszka z obsypki o frakcji uziarnienia 1–2 mm

**Well's screen construction:**

- 366.4–426.5 m well casing with screen of the diameter 5" (127 mm)
- 31.39 m length of the pipe above the screen
- 17.80 m length of the working part of screen
- 10.90 m length of the pipe below the screen
- 367.2–369.4 m seal made of the compactonite
- 426.5–450.0 m sand cushion made from filtration gravel pack with grains of diameter 1–2 mm

**Fig. 4. Schemat konstrukcji otworu Udryń PIG 1**

Schematic construction of the Udryń PIG 1 borehole

## POMPOWANIE BADAWCZE

Pompowanie oczyszczające, które trwało 25 h 30 min., przeprowadzono w dniach 31.07.2010–01.08.2010. W trakcie pompowania mierzono następujące parametry ilościowe: wydajność i położenie dynamicznego zwierciadła wody oraz fizykochemiczne: pH, PEW i temperaturę wody w komorze przepływowej. Pomiary rozpoczęto po upływie 4 h 15 min. pompowania pod koniec całkowitej wymiany jednej objętości wody w otworze  $V$ , wynoszącej około  $11,10 \text{ m}^3$ .

Na podstawie końcowej wydajności  $Q = 10,29 \text{ m}^3/\text{h}$  i odpowiadającej jej depresji  $s = 12,80 \text{ m}$ , z zastosowaniem wzoru Dupuita (Turek red., 1971) oszacowano współczynnik filtracji ujętej warstwy piasków drobnoziarnistych albu o miąższości  $m = 19,60 \text{ m}$ . Otrzymano wynik  $k = 1,34 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ . Współczynnik filtracji jest o rząd wielkości niższy od otrzymanego w wyniku analizy granulometrycznej.

W wynikach pomiarów pH zaznacza się dwukrotny spadek wartości po zmianach wydatków w 540 minucie: z 8,27 do 8,12 (wydatek – z  $5,62 \text{ m}^3/\text{h}$  do  $7,56 \text{ m}^3/\text{h}$ ) i 750 minucie pompowania: z 8,10 do 7,96 (wydatek – z  $7,56 \text{ m}^3/\text{h}$  do  $9,96 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Pod koniec pompowania oczyszczającego pH ustabilizowało się, osiągając wartość 7,94. W 900 minucie wystąpił 20-minutowy brak zasilania, któremu towarzyszył wzrost wartości parametru.

W początkowym etapie pomiarów wartość przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) wyraźnie malała, a następnie utrzymywała się w przedziale  $562\text{--}541 \text{ }\mu\text{S/cm}$ . Pod koniec pompowania oczyszczającego wartość PEW wyniosła  $536 \text{ }\mu\text{S/cm}$ .

Podobnie jak w przypadku pH, zaobserwowano również dwukrotny skokowy spadek temperatury, wynikający ze zmiany wydatków pompowania w 540 i 750 minucie. Chwilowy wzrost temperatury w 720 minucie o  $0,3^\circ\text{C}$  związany

był ze spadkiem wydajności do wartości  $6,90 \text{ m}^3/\text{h}$ . Najniższą w trakcie pompowania oczyszczającego temperaturę ( $1,9^\circ\text{C}$ ) odnotowano przy pięciu ostatnich pomiarach (fig. 5). Warto jednocześnie podkreślić fakt, że na tym etapie prac otwór badawczy Udryń PIG 1 nie jest ustabilizowany termicznie.

Wysokie wartości pH (10,35) i PEW ( $1380 \text{ }\mu\text{S/cm}$ ) w początkowym okresie prowadzenia pomiarów należy wiązać z zastosowaniem płuczki, ponieważ zostały one rozpoczęte pod koniec wymiany jednej objętości wody w otworze.

Przed wykonaniem pompowania pomiarowego zmierzono głębokość do zwierciadła wody – wynosiła ona  $76,38 \text{ m}$ . Pompowanie, rozpoczęte w dniu 05.08.2010 o godzinie 14:00, prowadzone było na trzech stopniach dynamicznych. W jego trakcie wykonywano pomiary parametrów ilościowych i fizykochemicznych wody. Do pomiarów wydajności (fig. 6) zastosowano wodomierz z dokładnością odczytu do 1 l oraz skrzynię przelewową z przelewem prostokątnym o szerokości  $b = 20 \text{ cm}$ . Kontrolnie mierzono czas potrzebny do napełnienia objętości  $V = 200 \text{ l}$  w skrzyni przelewowej. Pomiary wydajności na przelewie, na poszczególnych stopniach dynamicznych, wykazały niższe wartości niż na wodomierzu:  $Q_1 = 84,8\%$ ;  $Q_2 = 95,5\%$ ;  $Q_3 = 97,5\%$ . W obliczeniach wykorzystano wartości wydatków uzyskane z wodomierza, kontrolowane metodą objętościową. Pomiary depresji w otworze Udryń PIG 1 (fig. 7) prowadzone były przy użyciu gwizdka hydrogeologicznego (świstawki) oraz sondy hydrostatycznej, umieszczonej w koszu nad pompą na głębokości  $102,0 \text{ m}$ . Parametry fizykochemiczne wody przepływającej przez komorę przepływową rejestrowano z zastosowaniem polowych mierników firmy SLANDI: pehametru SP 300 z elektrodą do pomiarów temperatury i kon-

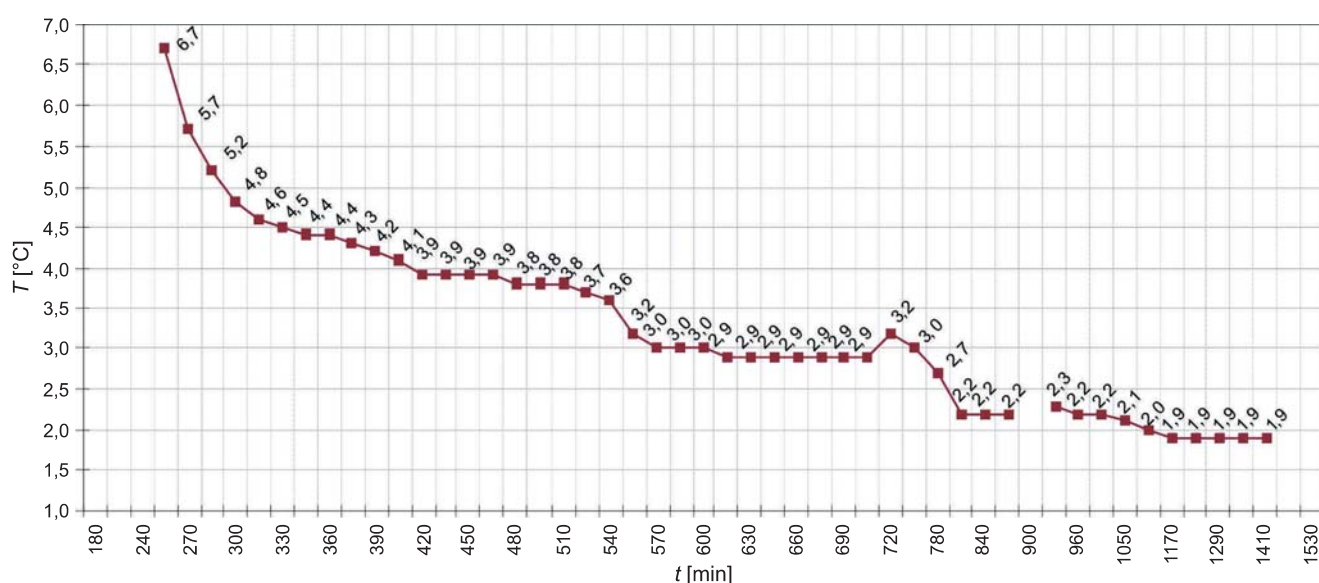


Fig. 5. Zmiany temperatury w trakcie pompowania oczyszczającego

Temperature variations during the trial pumping

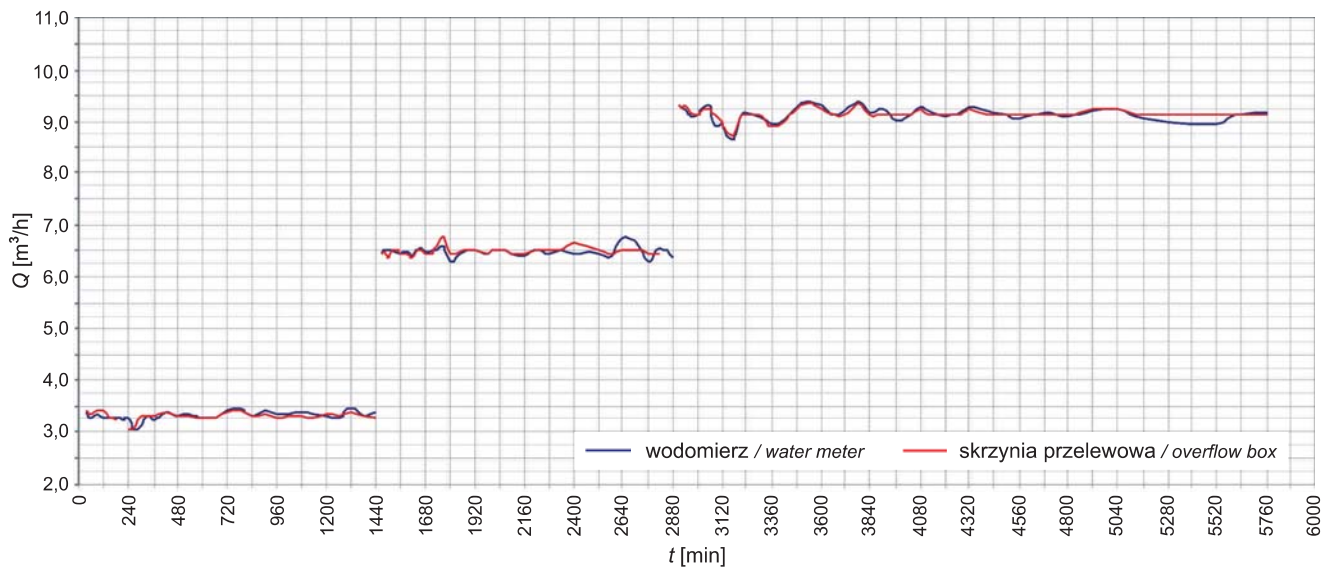


Fig. 6. Zmiany wydajności w funkcji czasu w trakcie pompowania pomiarowego

Discharge variations in the function of time during the pumping test

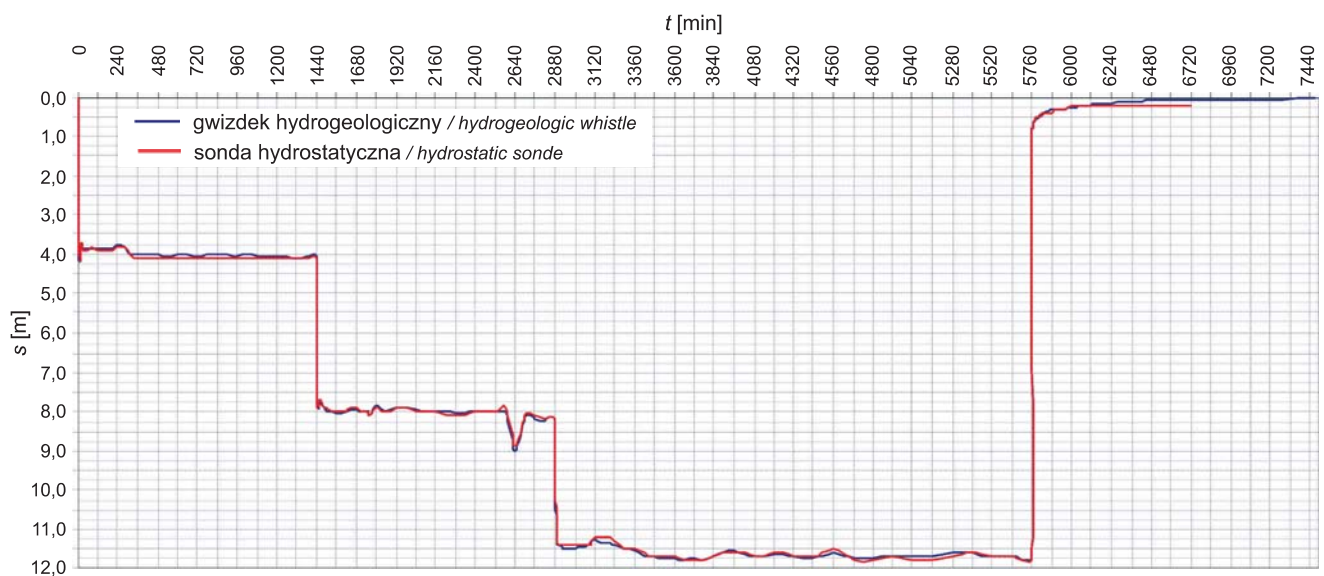


Fig. 7. Zmiany depresji w funkcji czasu w trakcie pompowania pomiarowego

Drawdown variations in the function of time during the pumping test

Tabela 1

**Wyniki próbnego pompowania**

Pumping test results

Stopień dynamiczny	Wydatek $Q$ [m <sup>3</sup> /h]	Depresja $s$ [m]	Czas $t$ [h]	Wydatek jednostkowy $q$ [m <sup>3</sup> /hm]	Współczynnik filtracji $k$ [10 <sup>-5</sup> m/s]	Współczynnik fluacji $K$ [10 <sup>-5</sup> m/s]
Q <sub>1</sub>	3,35	4,05	24	0,83	1,15	1,29
Q <sub>2</sub>	6,48	8,04	24	0,81	1,25	1,77
Q <sub>3</sub>	9,13	11,59	48	0,79	1,29	2,08



duktometru SC 300. Równocześnie wykonywano pomiary temperatury powietrza.

Do obliczeń współczynnika filtracji  $k$  [m/s], współczynnika oporów hydraulicznych w warstwie wodonośnej  $B$  [h/m<sup>2</sup>] oraz współczynnika oporów dodatkowych w strefie przyfiltrkowej  $C$  [h<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>] wykorzystano średnie wartości wydatków na trzech stopniach dynamicznych oraz odpowiadające im depresje. Obliczenia prowadzono przy założeniu dopływu ustalonego. Interpretacja z zastosowaniem analizy ruchu nieustalonego (Dąbrowski, Przybyłek, 2005) w trakcie

pierwszego stopnia dynamicznego pompowania nie była możliwa ze względu na szybką stabilizację depresji w otworze, wykazującą cechy wpływu zasilania ze źródła zewnętrznego. W świetle prowadzonych badań można przypuszczać, że źródłem tym jest proces przemiany fazowej wody z postaci stałej do ciekłej, wywołany spadkiem ciśnienia i wymuszeniem przepływu w warstwie wodonośnej. Średnia wartość współczynnika filtracji z trzech stopni dynamicznych (tab. 1), wyznaczona z zastosowaniem wzoru Dupuita, wynosi  $1,23 \cdot 10^{-5}$  m/s.

## SPRAWNOŚĆ OTWORU BADAWCZEGO

Sprawność hydrauliczną otworu badawczego Udryń PIG 1 określono zgodnie z założeniami schematu Jacoba (Siwek, Mańkowski, 1981):

$$S_p = S_w + S_d = BQ + CQ^2 \quad [1]$$

gdzie:

- $S_p$  – depresja pomierzona w pompowanym otworze [m],
- $S_w$  – depresja wynikająca z liniowych oporów przepływu w warstwie wodonośnej [m],
- $S_d$  – depresja dodatkowa wynikająca z oporów przepływu nieliniowego w strefie przyfiltrkowej, w filtrze i w studni, stanowiąca zeskok hydrauliczny [m],
- $B$  – współczynnik oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej [h/m<sup>2</sup>],
- $C$  – współczynnik nieliniowych oporów dodatkowych studni i strefy przyfiltrkowej  $C = \frac{S_p - B}{Q}$  [h<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>]

Na podstawie analizy wykresu  $s/Q = f(Q)$  (fig. 8) wyznaczono wartość współczynnika oporów przepływu laminarnego w warstwie wodonośnej  $B = 1,169$  h/m<sup>2</sup> oraz

współczynnik nieliniowych oporów dodatkowych studni i strefy przyfiltrkowej dla trzech stopni dynamicznych:  $C_1 = 0,020$  h<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>;  $C_2 = 0,011$  h<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>;  $C_3 = 0,010$  h<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>. Sprawność otworu

$$\eta = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} \cdot 100\% \quad [2]$$

na poszczególnych stopniach pompowania kształtuje się następująco:  $\eta_1 = 96,7\%$ ;  $\eta_2 = 94,2\%$ ;  $\eta_3 = 92,1\%$ . Otrzymane wartości wskazują na wysoki udział oporów przepływu turbulentnego wody w warstwie wodonośnej oraz na ich wzrost w łącznych oporach przepływu, towarzyszący zwiększaniu wydatku. Uwzględniając otrzymane wyniki, które jednoznacznie potwierdzają fakt, że wszystkie stopnie pompowania prowadzone były z wydajnościami znacznie przekraczającymi prędkość krytyczną filtracji, wyznaczono współczynnik fluacji z wykorzystaniem znanego wzoru Chezy-Krasnopolskiego przy założeniu zupełnego ujęcia warstwy piasków drobnoziarnistych albu o miąższości 19,60 m (tab. 1). Średnia wartość tego parametru  $K = 1,71 \cdot 10^{-5}$  m/s jest wartością zbliżoną do współczynnika filtracji.

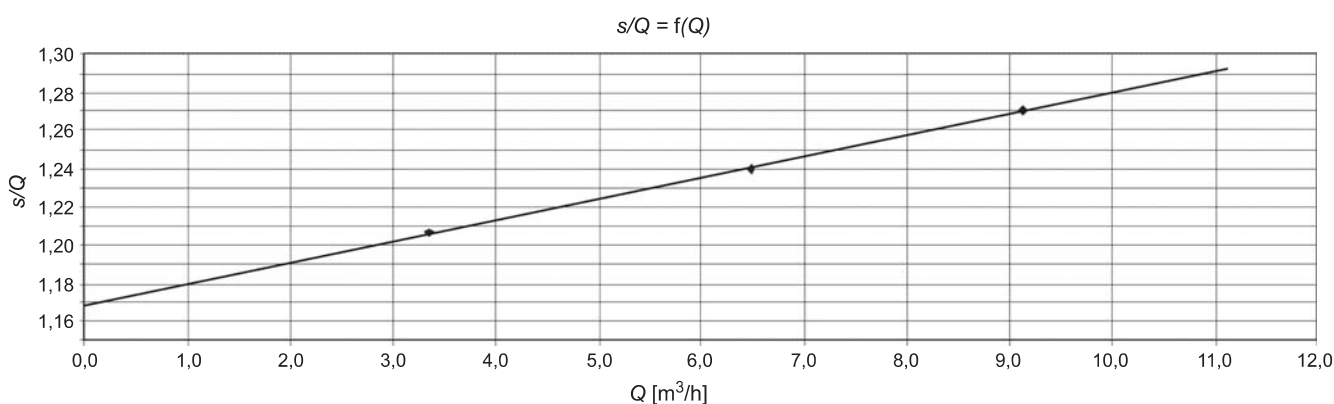


Fig. 8. Zależność  $s/Q = f(Q)$  dla wartości średnich wydatku i depresji

Relation of  $s/Q = f(Q)$  for average discharge and drawdown values

## PARAMETRY FIZYKOCHEMICZNE

W trakcie pompowania pomiarowego rejestrowane były również parametry fizykochemiczne wody przepływającej przez celkę przepływową (pH, PEW, temperatura) oraz temperatura otoczenia.

W początkowej fazie pompowania nastąpił spadek wartości pH z 8,08 (w 15 minucie) do 7,95 (w 270 minucie). Zaobserwowano trzy wyraźne cykle zbieżne z temperaturą otoczenia, mającą wpływ na temperaturę wody przepływającej przez komorę przepływową. Minimalne wartości pH obser-

wowane były każdorazowo w godzinach 0:00–4:00 i wynosiły 7,88–7,90 (fig. 9). Najwyższa odnotowana wartość wyniosła 8,02 o godzinie 14:30 (po 24 h 30 min). Średnia wartość pH wynosi 7,96.

W trakcie trzech stopni dynamicznych średnia wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wyniosła 522  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (wartość minimalna – 516  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , maksymalna – 542  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Wartości tego parametru do końca pompowania pomiarowego wykazywały tendencję spadkową (fig. 10).

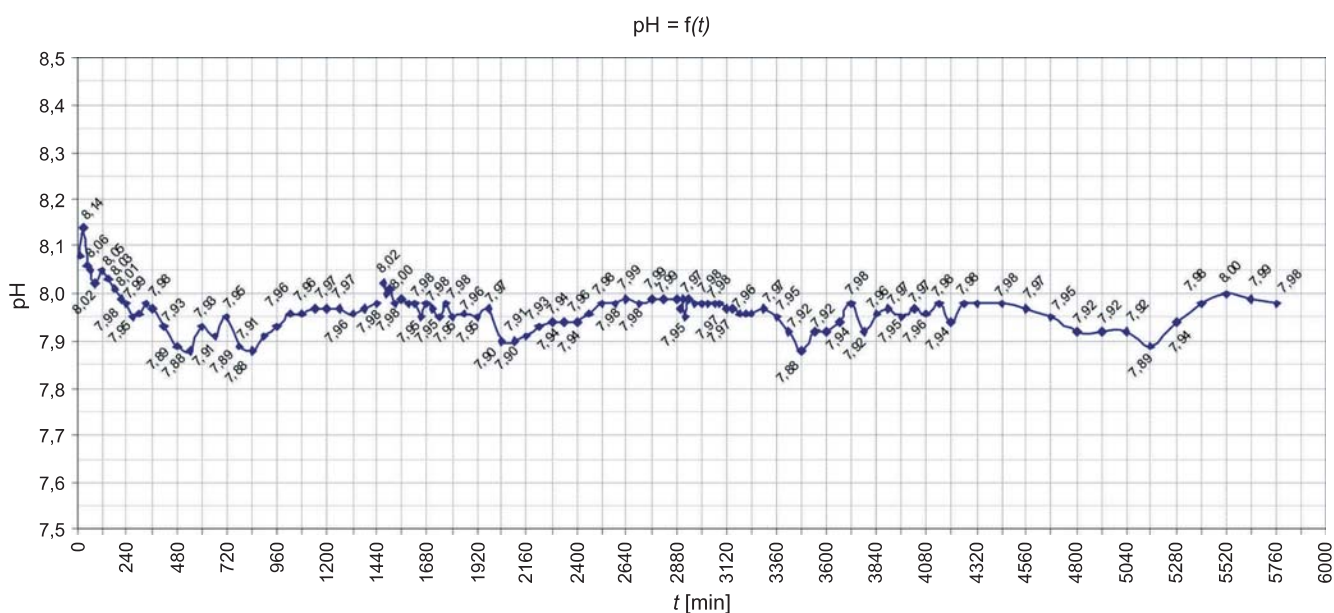


Fig. 9. Zmiany pH w trakcie pompowania pomiarowego

Variability of pH during the pumping test

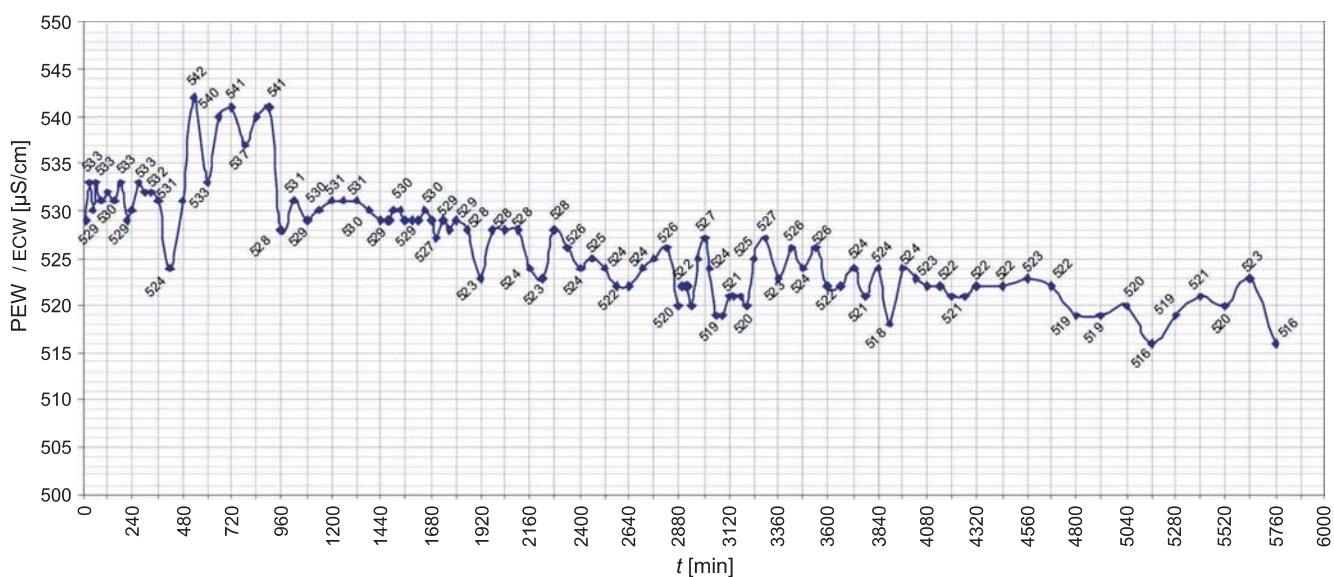


Fig. 10. Zmiany PEW w trakcie pompowania pomiarowego

Variations in (specific) electrical conductivity of water during the pumping test

W początkowej fazie pompowania zarejestrowano spadek temperatury wody przepływającej przez komorę przepływową, od wartości 10,5°C (15. minuta) do 4,2°C (270. minuta). Podczas pompowania pomiarowego wyraźnie widoczny jest wpływ temperatury otoczenia na temperaturę wody. Zaznacza się również dwukrotny skokowy jej spadek przy przejściach na

kolejne stopnie dynamiczne (tab. 2). Minimalna odnotowana temperatura wypływającej wody wyniosła 1,3°C. W trakcie pompowania pomiarowego można było zaobserwować stopniowe wychładzanie otworu, wyrażające się spadkiem temperatury minimalnej wody przy jednoczesnym niewielkim wzroście temperatury powietrza (fig. 11).

Tabela 2

## Zmienność temperatury wody i powietrza podczas pompowania pomiarowego

Variability of water and air temperature during the pumping test

Stopień dynamiczny	Czas	Czas pompowania t [h]	Temperatura wody [°C]		Temperatura powietrza [°C]	
			min.	śr.	min.	śr.
Q <sub>1</sub>	2:00–5:00	12–15	min.	3,5	min.	15,8–16,1
	9:00–11:00	19–21	max.	4,0–4,1	max.	25,7–27,2
			śr.	3,9	śr.	22,0
Q <sub>2</sub>	0:00–5:00	34–39	min.	2,0	min.	18,8–19,1
	9:00–14:00	43–48	max.	2,5–2,4	max.	29,8–33,9
			śr.	2,3	śr.	25,1
Q <sub>3</sub>	23:00–4:00	57–62	min.	1,4	min.	19,1–20,5
	20:00–8:00	78–90	min.	1,3	min.	14,9–19,1
	14:00	72	max.	2,0	max.	24,8
			śr.	1,6	śr.	23,4

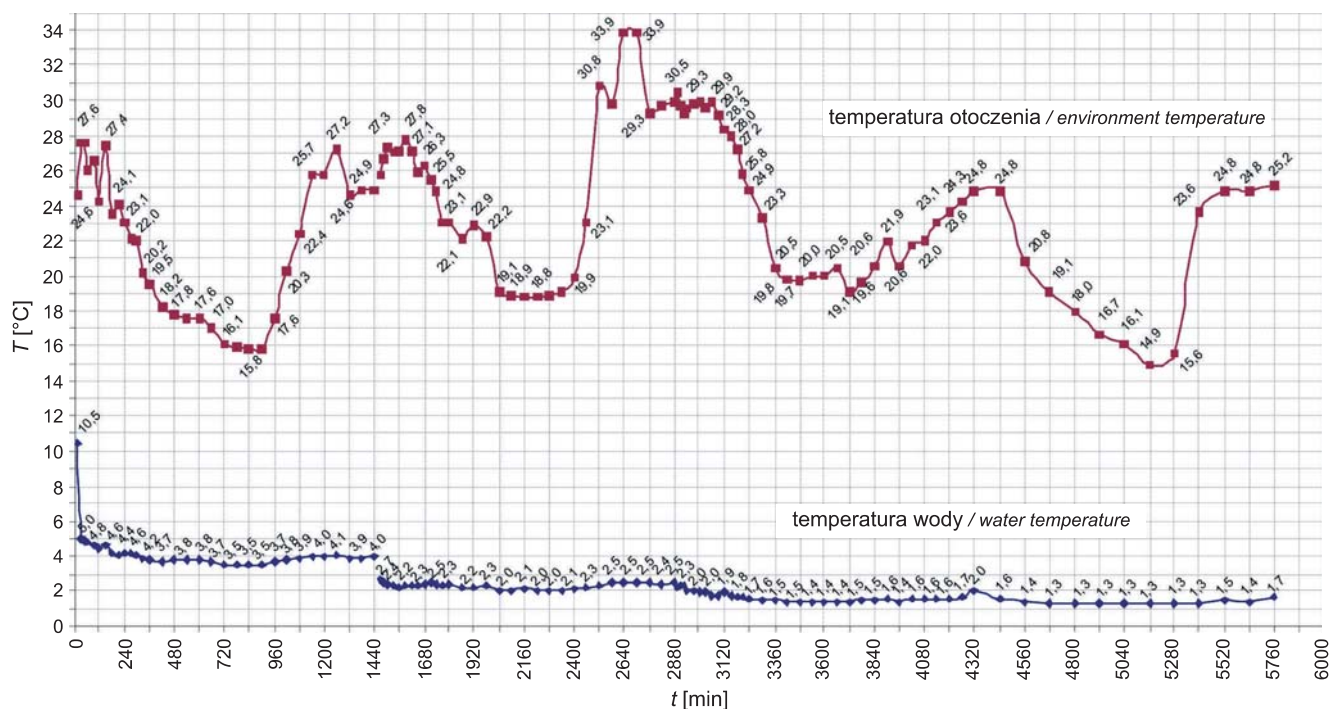


Fig. 11. Zmiany temperatury w trakcie pompowania pomiarowego

Temperature variations during the pumping test

## WPLYW METOMORFIZMU KRIOGENICZNEGO NA CHEMIZM WÓD

Otrzymane wyniki analiz chemicznych próbek wody pobranych w trakcie pompowania parametrycznego sugerują głębokość zachowanych przemian kriogenicznych, sięgającą poziomów wodonośnych jury środkowej. Jest to związane z występowaniem w tym rejonie głębokiej paleozmarzliny o pierwotnej miąższości sięgającej, według wyników wstępnych modelowań, blisko 700 m (Szewczyk, 2011). Świadczą o tym m.in.: mineralizacja ogólna wynosząca  $499 \text{ mg/dm}^3$  oraz typ hydrochemiczny wody  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ . Niska mineralizacja w świetle przeprowadzonych dotychczas badań (Michalski, 1985; Liszkowska, 1988; Szewczyk i in., 2002; Szewczyk, 2002) wskazuje jed-

noznacznie na metamorfizm kriogeniczny oraz na występowanie charakterystycznej strefy wód o podwyższonej mineralizacji (towarzyszącej wytrącaniu się m.in. soli wapnia w trakcie zamarzania) w utworach starszych pięter geologicznych. Średnia zawartość izotopu  $^{18}\text{O}$  wynosząca  $-11,7\%$  w próbce wody z otworu badawczego Udryń PIG 1 wskazuje na udział wód klimatu zimnego. Nie należy ona jednak do minimalnego zakresu wartości charakterystycznych dla wód przeobrażonych kriogenicznie. Świadczyć to może o tym, że analizowana woda jest mieszaniną: badane próbki wody z ujętego poziomu wodonośnego można zakwalifikować do wód relikto-paleoinfiltracyjnych.

## PODSUMOWANIE

W otworze badawczym Udryń PIG 1 potwierdzono występowanie wieloletniej zmarzliny w utworach kredy dolnej i kredy górnej, stanowiących środkową część pokrywy osadowej masywu anortozytowego. Możliwe jest również jej zachowanie w postaci reliktowej nawet w osadach jurajskich – w otworze nie przewiercono spągu tej strefy.

Pompowanie pomiarowe otworu Udryń PIG 1 prowadzone było w trakcie stabilizacji termicznej, która trwa dość długo. Minimalna temperatura odnotowana w otworze na głębokości 356,0 m w okresie poprzedzającym pompowanie pomiarowe wyniosła  $0,017^\circ\text{C}$ . Po ponad 2 miesiącach stabilizacji termicznej na głębokości 383,0 m minimalna wartość temperatury wyniosła  $-0,395^\circ\text{C}$ . Minimalna temperatura wody przepływającej przez komorę przepływową odnotowana została w trakcie trzeciego stopnia dynamicznego i wyniosła  $1,3^\circ\text{C}$ . Warto zaznaczyć, że czas przepływu wody z warstwy wodonośnej przy wydajności  $Q_{\text{sr}} = 9,13 \text{ m}^3/\text{h}$ , uwzględniający konstrukcję techniczną otworu, wyniósł około 1 h 01 min.

Wyniki analiz chemicznych pobranych próbek wody z piasków drobnziarnistych kredy dolnej (alb) potwierdzają metamorfizm kriogeniczny tych wód. Świadczą o tym w głównej mierze: typ hydrochemiczny, niska mineralizacja oraz zawartość izotopu  $^{18}\text{O}$ .

Bardzo wysokie wartości współczynnika oporów dodatkowych świadczą o znacznej turbulencji przepływu w strefie przyfiltrkowej, w filtrze oraz wewnątrz kolumny rur eksploatacyjnych, występującej na wszystkich stopniach dynamicznych pompowania badawczego. W świetle prowadzonych badań otrzymane wyniki mogą sugerować strefowe oblodzenie filtra i kolumny rur eksploatacyjnych, istotne przy ich średnicy wynoszącej jedynie 5", a także zlodzenie części warstwy wodonośnej, w wyniku którego w przepływie wody do otworu bierze udział jedynie jej część wolna od lodu. Jest to zgodne z interpretacją przyczyn powykonawczej turbulencji dopływu do studni jako skutku braku pełnego kontaktu hydraulicznego z warstwą wodonośną na całym odcinku

zafiltrowania. Sytuacja taka jest skutkiem błędnej oceny miąższości i głębokości warstwy wodonośnej w profilu wiercenia oraz spowodowanego tym ujęcia jej tylko przez fragment filtru. W tym przypadku brak pełnego kontaktu wynikałby nie z błędnej oceny profilu, lecz ze zlodzenia znaczącej części piaszczystej warstwy wodonośnej. W efekcie w wymuszonym pompowaniu przepływie wody bierze udział niepełna jej miąższość, a szybka stabilizacja depresji wskazuje na przemianę fazową lód-woda.

Zgodnie z klasyfikacją Waltona (Siwek, Mańkowski, 1981) tak wysoki współczynnik oporów dodatkowych dopływu  $C$  mógłby również świadczyć o powykonawczej kolmatacji strefy przyotworowej filtrem płuczki. W przypadku otworu badawczego Udryń PIG 1 i tę hipotezę można pominąć, ponieważ podczas przewiercania poziomu wodonośnego zastosowano płuczkę wodną.

Otrzymane wyniki jednoznacznie potwierdzają fakt przekroczenia prędkości krytycznej filtracji już na pierwszym stopniu dynamicznym. Średnia wartość współczynnika fluacji  $K_{\text{sr}}$  ze wszystkich stopni pompowania wynosi  $1,71 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

W świetle uzyskanych wyników pompowania pomiarowego, analiz chemicznych pobranych próbek wody, profilowań termicznych otworu badawczego Udryń PIG 1 uzyskano jednoznaczne potwierdzenie występowania paleozmarzliny w Polsce północno-wschodniej. Dalszych badań wymaga stwierdzenie jej zachowanej miąższości oraz głębokości występowania spągu. Niewątpliwie istotnych danych dostarczyć mogą analizy chemiczne wód z jurajskiego i triasowego piętra wodonośnego oraz profilowania temperaturowe otworów ujmujących warstwy wodonośne tego wieku.

**Podziękowania.** Autorzy pragną podziękować dr. Janowi Szewczykowi, autorowi hipotezy o istnieniu wieloletniej zmarzliny na obszarze SMA, za zainteresowanie oraz bezpośredni udział w badaniach hydrogeologicznych w otworze Udryń PIG 1, jak również za cenne uwagi w trakcie ich opracowywania i przygotowaniu niniejszej publikacji.

## LITERATURA

- BER A., 2000 — Plejstocen Polski północno-wschodniej w nawiązaniu do głębszego podłoża i obszarów sąsiednich. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 170.
- DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J., 2005 — Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. *Poradnik metodyczny*. Wyd. Hydroconsult, Poznań.
- DUCHNOWSKI Z., MICHALSKI T., 1987 — Chemizm wód podziemnych północnej części obniżenia podlaskiego na tle elementów paleohydrogeologii plejstocenu. *Prz. Geol.*, 35, 3: 138–143.
- HONCZARUK M., ŚLIWIŃSKI Ł., SZEWCZYK J., 2011 — Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Udryń PIG 1 dla potrzeb zadania „Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski”. Zbadanie zapisu czwartorzędowych zmian klimatycznych w wybranych profilach z obszaru Polski (zadanie 17). *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- LEŚNIAK P., 2010 — Wyniki badań składu izotopowego tlenu wody z otworu Udryń PIG 1 – ekspertyza. *W: M. Honczaruk, Ł. Śliwiński, J. Szewczyk – Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Udryń PIG 1 dla potrzeb zadania „Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski”*. Zbadanie zapisu czwartorzędowych zmian klimatycznych w wybranych profilach z obszaru Polski (zadanie 17). *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- LISZKOWSKA E., 1988 — O wodach kriogenicznie zmetamorfizowanych Polski północno-wschodniej. *Mat. 4. Ogólnopolskiego Sympozjum „Aktualne Problemy Hydrogeologii”*, cz. 2. Gdańsk–Sobieszewo. *Wyd. Inst. Morsk.*, Gdańsk: 81–91.
- MAJOROWICZ J.A., 1976 — Parametry geotermiczne rejonu Krzemianki i Udrynna na tle ziemskiego pola cieplnego NE Polski. *Prz. Geol.*, 24, 10: 607–613.
- MICHALSKI T., 1985 — O genezie anomalii chemicznych w wodach podziemnych północno-wschodniej Polski. *Mat. 3. Ogólnopolskiego Sympozjum „Aktualne Problemy Hydrogeologii”* Kraków–Karniowice: 505–511. *Wyd. AGH.*, Kraków.
- MITRĘGA J., PACZYŃSKI B., PŁOCHNIEWSKI Z., 1993 — Wody podziemne Suwalszczyzny. *Prz. Geol.*, 41, 8: 569–574.
- NOWICKI Z., SZEWCZYK J., 2003 — Ocena miąższości wieloletniej zmarzliny na podstawie danych geotermicznych, jako element analizy paleohydrogeologicznej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 1. *Politech. Gd.*, Gdańsk.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 — *Hydrogeologia regionalna Polski*, t. 1. *Wody słodkie*. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- RYKA W., SUBIETA M., KUBICKI S., KURBIEL H., 1982 — *Atlas geologiczny podłoża krystalicznego polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej*. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- RYKA W., 1993 — Fundament krystaliczny Suwalszczyzny. *Prz. Geol.*, 41, 8: 546–551.
- ŠAFANDA J., SZEWCZYK J., MAJOROWICZ J.A., 2004 — Geothermal evidence of very low glacial temperatures on a rim of the Fennoscandian ice sheet. *Geophysical Research Letters*, 31, 7.
- SIWEK Z., MAŃKOWSKI M., 1981 — Wyznaczanie parametrów hydraulicznych ujęcia wód podziemnych na podstawie pompowań próbnych. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- SZEWCZYK J., 2002 — Ślady zmian klimatycznych plejstocenu oraz holocenu w profilach temperatury w głębokich otworach wiertniczych na Niżu Polskim. *Prz. Geol.*, 50, 11: 1109–1114.
- SZEWCZYK J., MAJOROWICZ J.A., ŠAFANDA J., GIDZIŃSKI T., 2002 — Anomalia termiczna rejonu Krzemianka–Udryń – efekt zmian klimatycznych okresu plejstocen–holocen (permafrost?) (referat). *Posiedz. Nauk. Zakł. Hydr. i Geol. Inż. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- SZEWCZYK J., GIDZIŃSKI T., GIENKA D., 2003 — Anomalia geotermiczno-hydrogeochemiczna rejonu Krzemianka–Udryń – pozostałość głębokiej wieloletniej zmarzliny. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 11, cz. 1. *Politech. Gd.*, Gdańsk.
- SZEWCZYK J., HONCZARUK M., JANICA R., 2010 — Projekt prac geologicznych na wykonanie otworu badawczego Udryń PIG 1 dla potrzeb zadania „Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski”. Zbadanie zapisu czwartorzędowych zmian klimatycznych w wybranych profilach z obszaru Polski (zadanie 17). *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- SZEWCZYK J., 2011 — Interpretacja warunków termicznych i paleoklimatycznych dla rejonu otworu badawczego Udryń PIG 1 na podstawie danych geofizycznych oraz petrofizycznych – ekspertyza. *W: M. Honczaruk, Ł. Śliwiński, J. Szewczyk – Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Udryń PIG 1 dla potrzeb zadania „Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski”*. Zbadanie zapisu czwartorzędowych zmian klimatycznych w wybranych profilach z obszaru Polski (zadanie 17). *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- TUREK S. red., 1971 — *Poradnik hydrogeologa*. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- ZNOSKO J., 1973 — Suwałki IG 1 (Szlinoziemie IG 1). *W: Profile głęb. otw. wiertn.* *Wyd. Geol.*, Warszawa.

## SUMMARY

The Udryń PIG 1 borehole has confirmed the presence of permafrost in both Lower and Upper Cretaceous deposits forming the central part of the sedimentary cover of the Suwałki anorthosite massif. The presence of permafrost is also possible, as a relic, even in the Jurassic deposits, because the drilling has not reached the Jurassic base.

A pumping test was carried out during thermal stabilization of the Udryń PIG 1 borehole, which occurred after a long period of time. The minimum temperature recorded in the borehole, before the pumping test at a depth of 356.0 m, was 0.017°C. After over two months of thermal stabilization, the minimum temperature reached –0.395°C at a depth of

383.0 m. The minimum temperature of the water flowing through the flow chamber was recorded during the third stage of the pumping test and it reached 1.3°C. It should be emphasized that time in which the water flowed from the aquifer to the surface at a discharge of  $Q_{av} = 9.13 \text{ m}^3/\text{h}$ , considering the borehole construction, was about 1 hr 1 min.

Results of chemical analysis of water samples confirm the cryogenic metamorphism of the water from the Lower Cretaceous (Albian) deposits. It is proved mainly by the hydrochemical type, low mineralization and  $^{18}\text{O}$  isotope content.

Very high values of an additional resistance coefficient show a considerable turbulence of flow through the screen zone and inside the production pipe column, occurring at all stages of the dynamic pumping test. Due to conducted researches results may indicate a zonal icing of the screen and exploitation pipe column – essential when their diameter is only 5 inches – as well as icing of the aquifer which implies that only ice-free part of the water flows into the borehole. In accordance with this interpretation, the water turbulent flow into the borehole results from the lack of full hydraulic contact between the screen and the aquifer. It takes place when the thickness and depth to the aquifer are estimated incorrectly during the drilling, which causes that only part of the screen drains the aquifer. In this case, the lack of full contact is a result of freezing a significant part of the sandy aquifer

and not an effect of a mistake made at the stage of lithology assessment. As a result of the pumping, forced groundwater flow does not occur over the whole thickness of the aquifer and the quick drawdown stabilization indicates an ice – water phase transition.

According to the Walton's classification, such a high additional resistance coefficient could reflect a clogging encrustation of an area nearby the screen by the drilling fluid. In the case of the Udryń PIG 1 borehole, this hypothesis can also be rejected because the aquifer was drilled using a dilute water-based drilling fluid.

The research results clearly confirm the fact that the critical filtration velocity was exceeded already at the first dynamic pumping stage. The average value of filtration coefficient from all the pumping stages was estimated at  $K_{av} = 1.71 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ .

According to the results of the pumping test, chemical analysis of groundwater and thermal logging in the Udryń PIG 1 borehole, the presence of relict permafrost was unequivocally confirmed in north-eastern Poland. Further research requires defining the current permafrost thickness and depth to its bottom. Crucial data can be derived from chemical analysis of groundwater from the Jurassic and Triassic aquifers and from temperature logging performed in deposits of those ages.