

EKSPERYMENTALNE BADANIA STUDNI WIERCONEJ W WARUNKACH EKSPLOATACJI

Marek Kalenik, Edyta Roszczyk

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań studni wiercanej w trakcie jej eksploatacji. Badania zostały przeprowadzone w studni nr 4 w obiekcie Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej (NBSW) SGGW w Warszawie, przy ul. Nowoursynowskiej 159. Badania obejmowały pomiar zwierciadła wody w studni i piezometrach co dwa miesiące, pomiar energii elektrycznej i ilości wypompowanej wody w ciągu sześciu miesięcy oraz analizę jakości ujmowanej wody, która obejmowała barwę, żelazo, mangan, utlenialność, twardość ogólną, azot amonowy, azot azotanowy, mętność, chlorki, odczyn. Studnia nr 4 na obiekcie NBSW SGGW w Warszawie w czasie przeprowadzanych badań była eksploatowana prawidłowo, ponieważ nie stwierdzono pojawienia się zjawiska starzenia się studni.

Słowa kluczowe: studnia wiercona, eksploatacja studni, woda gruntowa, pompa głębinowa

WSTĘP

Główną zasadą eksploatacji ujęcia wody podziemnej jest utrzymanie w sposób ciągły odpowiedniej wydajności przy zachowaniu jakości ujmowanej wody, określonej w dokumentacji technicznej ujęcia oraz potwierdzonej próbnym pompowaniem. Do ogólnych zasad eksploatacji ujęcia wody podziemnej należy [Roman 1991]:

- utrzymanie ujęcia w pełnej sprawności technicznej,
- prowadzenie okresowych pomiarów wydajności ujęcia w powiązaniu z pomiarami zwierciadła wody w ujęciu i jego otoczeniu,
- prowadzenie pomiarów zużycia energii przez pompę głębinową,
- wykonywanie okresowych analiz jakości ujmowanej wody,

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Kalenik, Edyta Roszczyk, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Budownictwa i Geodezji, Zakład Wodociągów i Kanalizacji, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: kalenik@alpha.sggw.waw.pl

- przeprowadzanie okresowych kontroli warunków sanitarnych w strefie ochronnej ujęcia,
- przeprowadzanie, jeżeli jest to konieczne, renowacji ujęcia.

W dostępnej literaturze naukowo-technicznej niewiele jest informacji na temat badań dotyczących eksploatacji studni [Elsner 1981, Gabryszewski i Wieczysty 1985, Kłoss-Trębaczkiwicz i in. 1988, 1991, Wyszowski i in. 1988, Chlipalski i Denczew 1998, Strączyński 2003]. Celem artykułu jest przedstawienie analizy wyników badań, dotyczących eksploatacji studni wierconej w obiekcie NBSW SGGW. Zakres artykułu obejmuje pomiar zwierciadła wody w studni i piezometrach, pomiar energii elektrycznej i ilości wypompowanej wody oraz analizę jakości ujmowanej wody.

MATERIAŁY I METODY

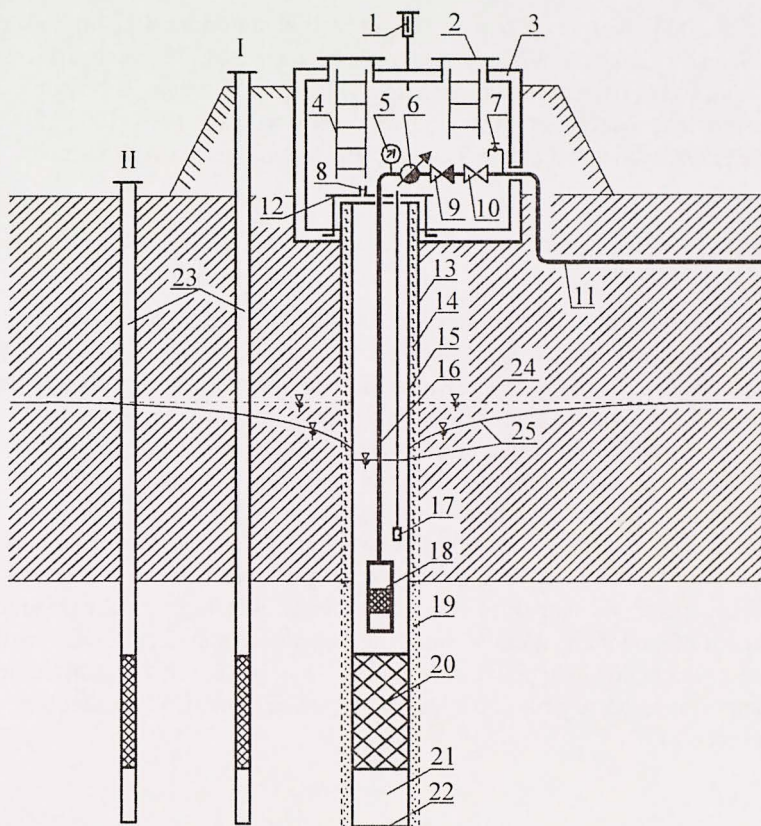
Badania zostały przeprowadzone w studni nr 4 w obiekcie Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej SGGW w Warszawie, przy ul. Nowoursynowskiej 159 (rys. 1). Studnia położona jest w obrębie niecki mazowieckiej, która jest obniżeniem powierzchni kredy górnej wypełnionej utworami czwartorzędowymi i trzeciorzędowymi. Woda ze studni ujmowana jest z utworów czwartorzędowych, w których od powierzchni terenu występują gliny zwałowe o wyrównanej miąższości 8,5–10,0 m [Kossakowska 1999]. Poniżej glin występują piaski o miąższości około 16 m i różnej granulacji, z przewagą średnioziarnistych, które są podścielone ilami pstryimi pliocenu. Dla studni nie jest wymagana strefa ochrony pośredniej, jedynie strefa ochrony bezpośredniej o wymiarach 50 × 90 m [Kossakowska 1999].

Studnia została odwiercona do głębokości 30 m p.p.t. [Kossakowska 1999]. W otworze studziennym (rys. 1) pozostawiono 3-metrowy odcinek rury okładzinowej o średnicy 508 mm. Otwór obudowano filtrem z PVC o średnicy 315 mm posadowionym na głębokości 29,75 m p.p.t. o wymiarach:

- rura nadfiltrowa 17,75 m, wyprowadzona do powierzchni terenu,
- filtr szczelinowy 6 m, o wysokości szczelin 0,75 mm,
- rura podfiltrowa 6 m.

Wokół filtra szczelinowego została wykonana obsypka piaskowa o średnicy ziaren od 0,8 do 2,0 mm. W studni na głębokości 26 m zamontowana jest pompa głębinowa typu Grundfos SP-45-6, o maksymalnej wydajności $Q = 55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}$. Obok studni w odległości 1 m (I, rys. 1) i 4 m (II, rys. 1) znajdują się kontrolne piezometry.

Badania obejmowały pomiar zwierciadła wody w studni i piezometriach w lipcu, wrześniu i grudniu 2001 roku oraz w marcu i maju 2002 roku. Pomiar energii elektrycznej i ilości wypompowanej wody był wykonywany od 10 grudnia 2001 roku do 27 maja 2002 roku. Wykonano również analizę jakości ujmowanej wody, która obejmowała żelazo, mangan, mętność, barwę, odczyn, twardość ogólną, azot azotanowy, azot amonowy, utlenialność, chlorki. Pomiar zwierciadła wody w studni wykonywano metodą akustyczną za pomocą gładkiego gwizdka mosiężnego (świstawki) długości 30 cm i średnicy 2 cm. Pomiar zwierciadła dynamicznego odczytywano dla 1/3, 2/3 i maksymalnej wydajności pompy głębinowej. Dla każdego ustawienia wodomierza



Rys. 1. Schemat studni wierconej: 1 – wentylacja, 2 – właz, 3 – obudowa studni, 4 – drabina, 5 – manometr, 6 – wodomierz, 7 – zawór czerpalny do pobierania próbek wody, 8 – otwór do pomiaru zwierciadła wody, 9 – zawór zwrotny, 10 – zawór odcinający, 11 – przewód doprowadzający wodę do stacji uzdatniania wody, 12 – głowica studni, 13 – rura okładzinowa, 14 – uszczelnienie z ilitu, 15 – rura nadfiltrowa, 16 – rura stalowa, 17 – automatyczny wyłącznik pompy, 18 – pompa głębinowa, 19 – obsypka piaskowa, 20 – filtr, 21 – rura podfiltrowa, 22 – korek, 23 – piezometr, 24 – statyczne zwierciadło wody, 25 – dynamiczne zwierciadło wody

Fig. 1. Scheme of bored well: 1 – ventilation, 2 – hatch, 3 – well lining, 4 – ladder, 5 – manometer, 6 – water meter, 7 – tap valve to sampling water, 8 – hol to measurement water table, 9 – cheek valve, 10 – stop valve, 11 – supply pipe water to water purification plant, 12 – well head, 13 – casing pipe, 14 – clay seal, 15 – pipe over filter, 16 – steel pipe, 17 – circuit-breaker pump, 18 – deep-well pump, 19 – sand, 20 – filter, 21 – pipe below filter, 22 – plug, 23 – piezometr, 24 – statical water level, 25 – dynamical water level

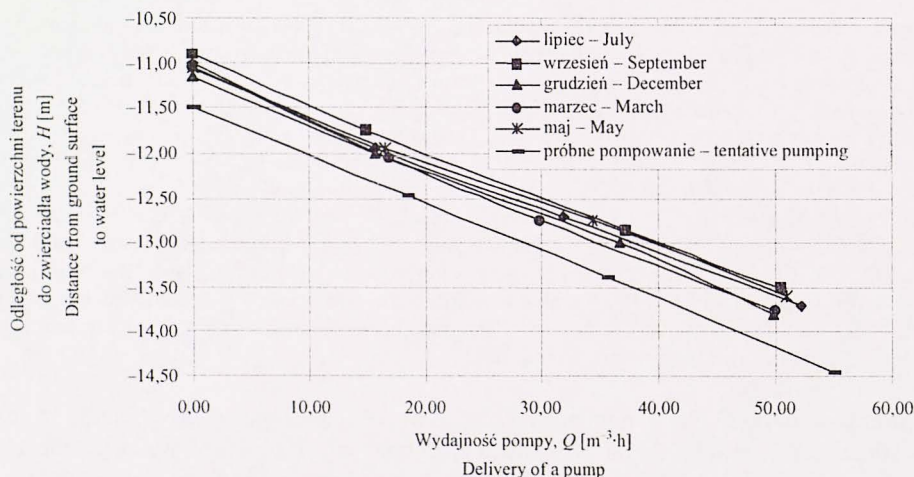
wykonywano po 3 serie pomiarowe, co 5 minut. Dynamiczne zwierciadło wody w studni stabilizowało się po 30 minutach. Pomiar zużycia energii wykonywano raz w tygodniu w poniedziałki o godzinie 8.50 z jednoczesnym odczytem wskazań wodomierza w studni. Na czas pomiaru pompa głębinowa w studni była wyłączana, ażeby można było słyszeć gwizd ze świstawki. Analiza jakości ujmowanej wody w maju 2002 roku była wykonywana zgodnie z rozporządzeniami dotyczącymi jakości wody [Rozpo-

rzządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002] w Laboratorium Chemii i Technologii Wody i Ścieków Zakładu Wodociągów i Kanalizacji SGGW. Analiza jakości wody wykonywana była w trzech powtórzeniach w odstępie tygodnia, a otrzymane wyniki zostały uśrednione. Natomiast badania jakości wody w latach 1998, 1999 i 2000 zostały wykonane przez Powiatową Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Warszawie.

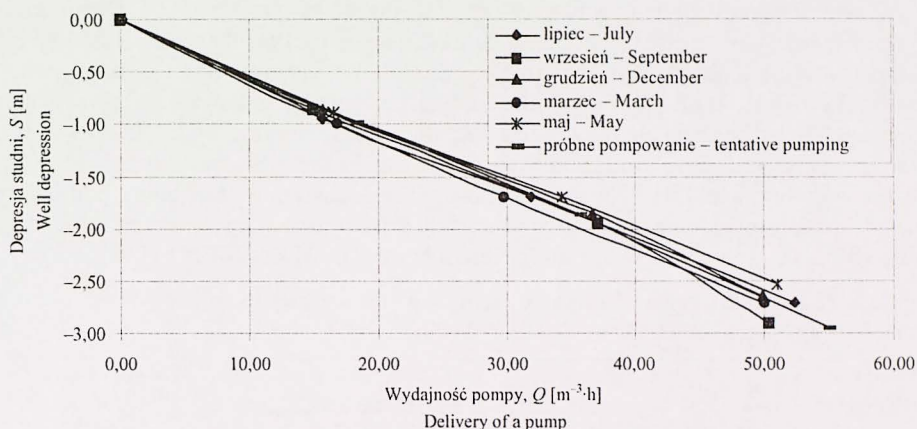
WYNIKI I DYSKUSJA

W okresie od lipca 2001 roku do czerwca 2002 roku nie było awarii studni spowodowanej złą eksploatacją. Jedynie wystąpiła awaria spowodowana złym wykonawstwem. Głowica studni, na której zawieszona była pompa, oparta została w trakcie budowy o rurę filtru. Drgania podczas pracy pompy głębinowej, po kilku latach funkcjonowania, doprowadziły do rozluźnienia uszczelnienia z ładu. Spowodowało to w okresie długotrwałego deszczu przedostanie się wody opadowej do wnętrza studni.

Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono wyniki pomiaru zwierciadła wody w studni i piezometrach w zależności od wydajności pompy. Wahania statycznego zwierciadła wody w studni wierzonej nr 4, w zależności od pory roku, są bardzo małe i wynoszą około 10 cm (rys. 2, 4). Najwyżej zwierciadło wody układało się we wrześniu, a najniższe w grudniu. Podobnie zachowywało się również dynamiczne zwierciadło wody. Statyczne zwierciadło wody podniosło się mniej więcej o 0,5 m w porównaniu do próbnego pompowania, co sugeruje podniesienie się zwierciadła wody gruntowej w obrębie tej studni (rys. 2).

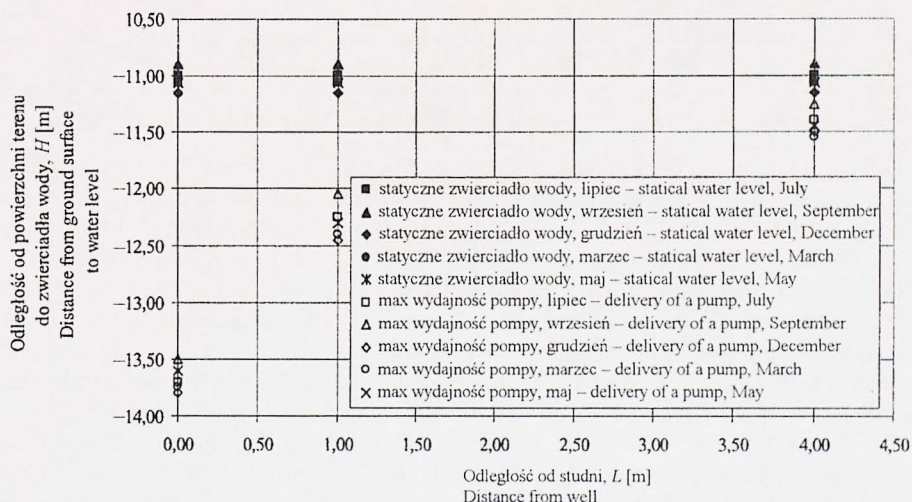


Rys. 2. Wyniki pomiarów zwierciadła wody w studni wierzonej nr 4
Fig. Measurements results of water level in bored well No 4



Rys. 3. Charakterystyki depresji dla studni wierconej nr 4
 Fig. 3. Depression characteristics for bored well No 4

Charakterystyka depresji z próbnego pompowania znajduje się w środku charakterystyk depresji wyznaczonych z przeprowadzonych pomiarów. Wydajność studni wierconej mieści się w zakresie wydajności z próbnego pompowania (rys. 3). Wskazuje to, że w studni wierconej nr 4 nie występuje zjawisko starzenia się studni. Różnica położenia zwierciadła statycznego w stosunku do zwierciadła dynamicznego, w zależności od maksymalnej wydajności pompy głębinowej w piezometrze nr II (rys. 1) oddalonym od studni o 4 m, jest mała i wynosi około 0,4 m (rys. 4). W związku z tym można wnioskować, że zasięg leja depresji w studni wierconej nr 4 jest mały i nie oddziałuje na sąsiednie studnie. Najbliższa studnia znajduje się w odległości 76 m [Kossakowska 1999].



Rys. 4. Wyniki pomiarów zwierciadła wody w studni wierconej nr 4 i piezometrach
 Fig. 4. Measurements results of water level in bored well No 4 and piezometers

W tabeli 1 przedstawiono wyniki analizy wody dla studni wierconej nr 4. Dopuszczalna wartość barwy w wodzie nadającej się do picia nie powinna przekraczać $15 \text{ mg Pt}\cdot\text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002]. W badanym okresie barwa wody wahała się średnio od 68 do $14 \text{ mg Pt}\cdot\text{dm}^{-3}$ i miała tendencję spadkową. Zawartość żelaza w wodzie średnio wahała się od 2,25 do $2,82 \text{ mg Fe}\cdot\text{dm}^{-3}$ i miała tendencję wzrostową. Wartość dopuszczalna żelaza, która wynosi $0,2 \text{ mg Fe}\cdot\text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002], była przekroczona czterestokrotnie. Literatura podaje, że w wodzie czwartorzędowej zaobserwowano takie zjawisko, że w czasie eksploatacji studni wierconej następuje wzrost zawartości żelaza [Kowal i Świdarska-Bróz 1998].

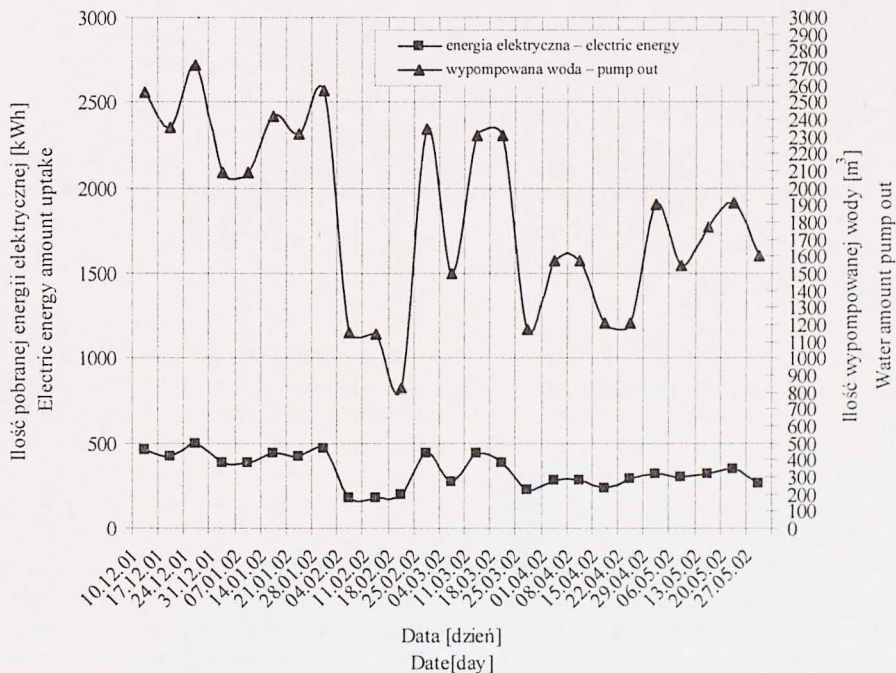
Tabela 1. Zestawienie wyników badań wody surowej w studni wierconej nr 4
Table 1. Test results of raw water in bored well No 4

Wskaźniki Indicators	Data, rok Date, year				Według rozporządzenia [2000, 2002] By order [2000, 2002]
	1998 [Wyniki...]	1999	2000	2002	
Barwa Colour [$\text{mg Pt}\cdot\text{dm}^{-3}$]	17,00	68,00	30,00	14,00	15,00
Żelazo Iron [$\text{mg Fe}\cdot\text{dm}^{-3}$]	2,25	2,61	2,68	2,82	0,20
Mangan Manganese [$\text{mg Mn}\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,38	0,30	0,21	0,20	0,05
Utlenialność Oxygen consumption [$\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$]	2,60	1,55	1,81	1,95	–
Twardość ogólna Total hardness [$^{\circ}\text{tw}$]	11,42	17,90	21,40	24,14	3,36–28,00
Azot amonowy Ammonia nitrogen [$\text{mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,47	0,34	0,37	0,25	0,50
Azot azotanowy Nitrate nitrogen [$\text{mg N-NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$]	0,10	0,56	0,19	0,01	50
Mętność Turbidity [NTU]	1,70	–	–	4,00	1
Chlorki Chlorides [$\text{mg Cl}\cdot\text{dm}^{-3}$]	44,10	–	–	17,33	250,00
pH	7,10	6,86	7,15	7,35	6,50–9,50

Mangan w wodzie średnio wahał się od 0,38 do $0,2 \text{ mg Mn}\cdot\text{dm}^{-3}$ i miał tendencję spadkową. Wartość dopuszczalna manganu, która wynosi $0,05 \text{ mg Mn}\cdot\text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002], była przekroczona czterokrotnie. Utlenialność wody średnio wahała się od 2,6 do $1,55 \text{ mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$ i od 1999 roku miała tendencję wzrostową. Dopuszczalna wartość utlenialności nie jest określona w rozporządzeniach [2000, 2002], jednak jest ona wskaźnikiem łącznej zawartości związków organicznych. Twardość ogólna w wodzie średnio wahała się od 11,42 do $24,14^{\circ}\text{tw}$ i miała tendencję wzrostową. Wartość dopuszczalna twardości ogólnej od 3,36 do 28°tw nie została przekroczona [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002]. Azot amonowy średnio wahał się od 0,47 do $24,14 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ i miał tendencję spadkową. Wartość dopuszczalna azotu amonowego $0,50 \text{ mg N-NH}_4\cdot\text{dm}^{-3}$ nie została przekroczona [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002]. Natomiast zawartość azotu azotanowego w wodzie występowała w ilościach śladowych i wahała się od 0,01 do $0,56 \text{ mg N-NO}_3\cdot\text{dm}^{-3}$. W analizach wykonywanych w latach 1999 i 2000 pominięto pomiar męt-

ności i chlorków. Na podstawie wykonanych pomiarów mętności w 1998 i 2002 roku, można stwierdzić, że wartość dopuszczalna mętności 1 NTU [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002] była przekroczona i miała tendencję wzrostową. Natomiast wartość dopuszczalna chlorków nie została przekroczona i miała tendencję spadkową. Wartość odczynu wody od 6,5 do 9,5 pH [Rozporządzenie... 2000, Rozporządzenie... 2002] nie została przekroczona i utrzymywała się na porównywalnym poziomie.

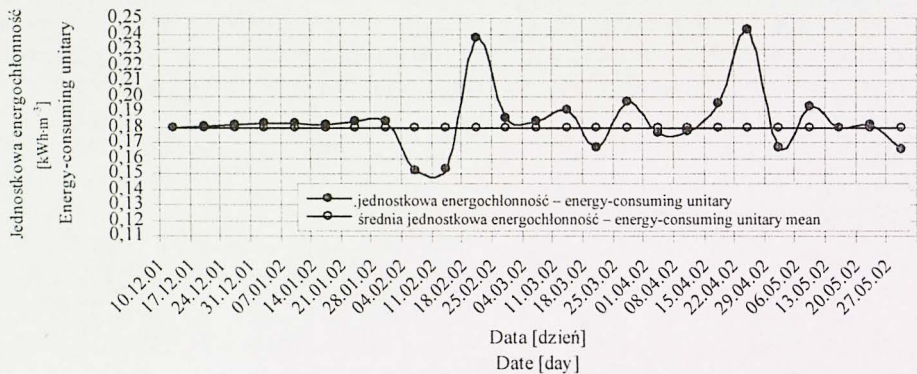
Na rysunku 5 przedstawiono rozkład w czasie ilości pobranej energii elektrycznej i wypompowanej wody ze studni nr 4. Studnia pracuje dość nieregularnie w krótkich okresach i nie jest włączana zbyt często w system pracy stacji uzdatniania wody (pracuje jako studnia awaryjna). W czasie przeprowadzanych badań ilość wypompowanej wody ze studni wahała się od 823 do 2418 m³, a zużycie energii elektrycznej od 175 do 493 kWh. Energia elektryczna pobierana przez silnik pompy głębinowej wzrastała proporcjonalnie do ilości ujmowanej wody ze studni. Średnio potrzeba 1 kWh na wypompowanie 5,1–5,6 m³ wody. W związku z tym na wypompowanie 1 m³ wody potrzeba 0,17–0,19 kWh energii elektrycznej. Na NBSW SGGW pobór 1 kWh kosztował 0,35 zł (ceny z roku 2002), czyli ilość pobranej energii elektrycznej do wypompowania 1 m³ wody kosztowała średnio 0,065 zł (ceny z 2002 r.). Natomiast cena 1 m³ wody uzdatnionej, którą płacili odbiorcy, wynosiła 2,16 zł [Obciążenie... 2002]. Wynika stąd, że wydobycie wody ze studni nr 4 nie było kosztowne.



Rys. 5. Rozkład w czasie ilości pobranej energii elektrycznej i wypompowanej wody ze studni wierconej nr 4

Fig. 5. Electric energy amount uptake and water amount pump out distribution in time from bored well No 4

Na rysunku 6 przedstawiono rozkład w czasie jednostkowej energochłonności pompy głębinowej w studni wierconej nr 4. Średnia jednostkowa energochłonność pracy pompy w studni wierconej została wyznaczona z okresu od 10 grudnia 2001 roku do 27 maja 2002 roku jako średnia arytmetyczna jednostkowej energochłonności i wyniosła ona $0,18 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. W niektórych okresach pracy pompy jednostkowa energochłonność znacznie odbiegała od średniej jednostkowej energochłonności i wahała się od $0,15$ do $0,24 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$. Było to spowodowane stratami energii elektrycznej, gdy pompa pracowała krótko i często się załączała. Wówczas powstawały straty energii elektrycznej podczas rozruchu pompy. W związku z tym zaleca się, żeby czas pracy pompy głębinowej w studni wierconej był w miarę możliwości jak najdłuższy.



Rys. 6. Rozkład w czasie jednostkowej energochłonności pompy głębinowej w studni wierconej nr 4
Fig. 6. Energy-consuming unitary distribution in time deep-well pump in bored well No 4

PODSUMOWANIE

W studni wierconej nr 4 statyczne zwierciadło wody podniosło się około $0,5 \text{ m}$ w porównaniu do próbnego pompowania, co sugeruje podniesienie się zwierciadła wody gruntowej w obrębie tej studni. Natomiast wydajność i depresja studni nie uległa zmianie. Ponieważ wydajność i depresja studni nie uległa obniżeniu, w porównaniu do depresji uzyskanej podczas próbnego pompowania, sugeruje to, że nie zachodzi proces starzenia się studni. Zwierciadło statyczne i dynamiczne wykazuje małą zależność od warunków pogodowych, a zasięg leża depresji w studni jest mały i nie oddziałuje na sąsiednie studnie. Skład fizykochemiczny wody nie jest stały. Zmienia się on na przełomie lat. Woda wymaga uzdatniania, ponieważ przekroczone są parametry żelaza, manganu, barwy i mętności. Ujmowanie wody ze studni jest opłacalne, ponieważ na wypompowanie jednej jednostki wody ze studni potrzeba niewielkiej ilości energii elektrycznej. Średnio na jednostkę energii elektrycznej (kWh) przypada pięć jednostek ujmowanej wody (m^3). Koszt energii elektrycznej na wypompowanie 1 m^3 wody wynosił średnio $0,065 \text{ zł}$ (ceny z 2002 r.), podczas gdy cena 1 m^3 wody uzdatnionej sprzedawanej odbiorcom wynosiła $2,16 \text{ zł}$ (ceny z 2002 r.). Natomiast średnia jednostkowa energochłonność pompy głębinowej w studni wynosiła $0,18 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-3}$.

PIŚMIENNICTWO

- Chlupalski J., Denczew S., 1998. Problemy prawno-techniczne eksploatacji ujęć wód podziemnych w Warszawie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 2002–2003.
- Elsner Z., 1981. Eksploatacja, konserwacja i remonty planowo-zapobiegawcze wodociągów wiejskich. Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, 1.
- Gabryszewski T., Wieczysty A., 1985. Ujęcia wód podziemnych. Arkady, Warszawa.
- Kłoss-Trębaczekiewicz H., Kwietniewski M., Roman M., 1988. Wyniki badań i metoda oceny niezawodności działania ujęć wód podziemnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 5, 87–92.
- Kłoss-Trębaczekiewicz H., Kwietniewski M., Roman M., 1991. Eksploatacyjne wskaźniki niezawodności działania ujęć wód podziemnych w wodociągach wiejskich. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1, 9–12.
- Kossakowska D., 1999. Operat wodnoprawny na pobór wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych – oligoceńskich na terenie Naukowo-Badawczej Stacji Wodociągowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159. Maszynopis, Warszawa.
- Kowal A.L., Świdarska-Bróz M., 1998. Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław.
- Obciążenie za pobraną wodę z NBSW SGGW za miesiąc czerwiec 2002.
- Roman M., 1991. Poradnik. Wodociągi i kanalizacja. Podstawy projektowania i eksploatacji. Arkady, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 4 września 2000 roku w sprawie warunków, jakim powinna odpowiadać woda do picia i na potrzeby gospodarcze, woda w kąpieliskach, oraz zasad sprawowania kontroli jakości wody przez organy inspekcji Sanitarnej. DzU z 2000 r. nr 82, poz. 937.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 roku w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. DzU z 2002 r. nr 203, poz. 1718.
- Strączyński M., 2003. Przyczyny i skutki uszkodzeń głębinowych agregatów pompowych. *Informacje Naukowe i Techniczne* 3 (11), 49–54.
- Wyniki badania wody z roku 1998, 1999, 2000. Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Warszawie, Warszawa.
- Wyszkowski K., Matlak M., Rybacki R., Grunwald A., Siarkiewicz L., 1988. Badania hydrauliczne studni promienistej ujęcia wody „Reda III” dla aglomeracji gdyńskiej. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 6, 117–122.

EXPERIMENTAL TESTING OF BORED WELL IN MAINTENANCE CONDITIONS

Abstract. Paper describes the results of bored well test in during maintenance hers. The measurements, was performed in the bored well No 4, on of Scientific Research Water Treatment Station in Agricultural University Warsaw at 159 Nowoursynowska Street. In the test was measured water table in well and piezometers for two month, electric energy and water amount pump out for six month and water analysis which was include colour, iron, manganese, oxygen consumption, total hardness, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, turbidity, chlorides, pH. The bored well No 4 was maintenance properly, because no maintain well ageing.

Key words: bored well, maintenance well, underground water, deep-well pump

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 15.10.2004