

CHEMIZM PŁYTKO ZALEGAJĄCYCH WÓD GRUNTOWYCH NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH MIEJSCOWOŚCI W GMINIE GORZYCE

Katarzyna Pawęska¹, Aleksandra Bawiec¹, Beata Malczewska², Aleksandra Bauerek³

¹ Zakład Infrastruktury i Techniki Sanitarnej, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: katarzyna.paweska@up.wroc.pl, aleksandra.bawiec@up.wroc.pl

² Zakład Inżynierii Wodnej i Hydrotransportu, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: beata.malczewska@up.wroc.pl

³ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, plac Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, e-mail: aleksandra.bauerek@gmail.com

STRESZCZENIE

W Polsce około 40% ludności mieszka na terenach wiejskich i mimo postępu w budowie infrastruktury technicznej związanej z przesyłem i dystrybucją wody nadal można spotkać rejony, w których woda na cele spożywcze pozyskiwana jest ze studni. Przedmiotem pracy była ocena jakości płytko zalegających (98–604 cm) wód gruntowych stanowiących źródło wody przeznaczonej do spożycia na terenach wiejskich. Badaniami objęto 8 studni zlokalizowanych w gminie Gorzyce. Analizie poddano następujące parametry: pH, tlen rozpuszczony, przewodność elektrolityczna, BZT₅, formy azotu, fosfor ogólny oraz fosforany jak również jony SO_4^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} i Mg^{++} . Wyniki badań przedstawiono w postaci średnich stężeń analizowanych parametrów z okresu badawczego dla każdej studni. Wyniki badań potwierdzają fakt, iż słabo zabezpieczone studnie cechują się gorszą jakością wody; w kilku z omawianych przypadków średnie stężenie analizowanych parametrów przekroczyło normy dopuszczalne dla wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Słowa kluczowe: woda, studnie kopane, jakość wody, tereny wiejskie, ujęcie wody

THE CHEMISTRY OF DEFAULTING SHALLOW GROUNDWATER ON THE BASE ON SELECTED VILLAGE OF GORZYCE COMMUNE

ABSTRACT

In Poland about 40% of the population lives in a rural areas and despite of the great technical progress in the infrastructure, there are still areas without water supply system where portable water is drawn from the well. The subject of this work was to evaluate the quality of shallow well water (98–604 cm), which is a source of water for consumption. Studies covered 8 wells in the Gorzyce commune. The following chemical components: pH, dissolved oxygen, electrolytic conductivity, BOD₅, nitrogen, total phosphorus and phosphates, and ions of SO_4^- , Na^+ , K^+ , Ca^{++} and Mg^{++} were analyzed. The results of the studies are described by the mean concentrations of components in analyzed period of time. The results confirm the fact that, poorly protected wells have a worse quality of water. Moreover a few cases, the average concentration of the analyzed indexes exceed acceptable standards for drinking water.

Keywords: water, wells, the quality of water in rural areas, water intake

WSTĘP

Woda stanowi jeden z głównych zasobów niezbędnych człowiekowi do życia oraz do zaspokajania jego potrzeb takich jak: produkcja rolno, hodowla ryb, pozyskiwanie energii, produkcji

przemysłowej, transport, turystyka. Dlatego zapewnienie dostępu do wody, a także w późniejszym etapie odprowadzanie ścieków są jednym z ważniejszych zadań własnych gmin. Podejmowane w celu realizacji tych zadań działania są bardzo często dużym obciążeniem dla gminnego

budżetu [Berkowska i in. 2010]. W 2014 roku 36 mln mieszkańców Polski korzystało z systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę [Stan Sanitarny Kraju 2014], pozostali mieszkańcy (2,5 mln) używali wody z indywidualnych ujęć tj. studni wierconych lub kopanych. Tego typu ujęcia wody przede wszystkim zlokalizowane są na terenach wiejskich. Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi powinna być wolna od mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego, a także wszelkich substancji w stężeniach stanowiących potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego.

Dopuszczalne wartości poszczególnych parametrów zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 27 listopada 2015 r w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2015 r. poz. 1893) i dotyczą wody pobieranej między innymi z urządzeń i instalacji wodociągowych, pobieranych z indywidualnych ujęć wody zaopatrujących ponad 50 osób lub dostarczających więcej niż średnio 10 m³ wody na dobę. Woda przeznaczona na potrzeby własne gospodarstwa, pobierana z indywidualnych ujęć nie musi być poddana kontroli jakości przez organy państwowe. Na skutek braku nadzoru organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej nad indywidualnymi ujęciami wody, odbiorcy indywidualni narażeni są na poważne ryzyko zdrowotne związane z możliwością przekroczeń dopuszczalnych parametrów dla wody przeznaczonej do picia. Azotany zawarte w wodach uważane są za jeden z groźniejszych czynników toksycznych występujących w środowisku człowieka [Bilek i Rybakova 2014]. Wysokie stężenia azotanów w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi powodują wiele problemów zdrowotnych takich jak methemoglobinemia, problemy z tarczycą, samoistne poronienia, wady wrodzone dzieci [Gupta i in. 2008, Knobeloch i in. 2000]. Szkodliwe działanie azotanów NO₃⁻ jest głównie związane z ich podatnością na redukcję przez bakterie do niebezpiecznych azotynów (NO₂⁻). Jony azotynów są prekursorem rakotwórczych N-nitroamin [Nowak i Libudysz 2008]. Przyjmuje się iż obecność jonów azotanowych (NO₃⁻) w wodzie pitnej jest toksyczna. Według danych WHO/FAO dzienna dawka wynosi 3,65 mgNO₃⁻·kg⁻¹ masy ciała na dzień.

W Polsce około 40% ludności mieszka na terenach wiejskich i choć postęp technologiczny związany z przesyłem i dystrybucją wody

jest coraz większy, nadal można spotkać rejon, w których woda na cele spożywcze pozyskiwana jest z płytko kopanych studni (do 10 m poniżej poziomu terenu). Są to głównie indywidualne ujęcia, których dzienna wydajność nie przekracza 10 m³·d⁻¹. Według danych GUS [2012] w 2011 roku parametry wody w 11,9% skontrolowanych studni przyzagrodowych na wsiach oraz w 62% studni publicznych nie spełniały wymagań stawianych przez polskie prawo. Według badań Jaszczyńskiego i in. [2006] oraz Nas i Berkay [2006] płytko kopane studnie są najbardziej narażone na zanieczyszczenia azotanami. Dwoma głównymi źródłami zanieczyszczeń wód na terenach wiejskich są rolnictwo oraz niepoprawnie (nieszczelne) wykonane przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz bezodpływowe zbiorniki na nieczystości. Rolnictwo, a przede wszystkim intensywne uprawy (np. mechaniczna uprawa gleby) sprzyjają mineralizacji materii organicznej i uwalnianiu mineralnych związków azotu zwłaszcza w okresie wczesnowiosennym. Azot nie wykorzystany w produkcji rolnej bardzo łatwo ulega rozproszeniu do środowiska [Czajkowska 2010]. Najmniej stabilny jest jon azotowy, który wykazuje najwyższą ruchliwość w profilu glebowym i może wraz z wodą być wymywany i przenoszony w głąb gleby. Problemy z jakością wody w przydomowych studniach zauważalne są nie tylko na terenie Polski [Pawęska i in. 2015]. W Kanadzie na 1300 obserwowanych obiektów 34% wskazywało zanieczyszczenie wody wskaźnikami pochodzenia fekalnego [Maier i in 2014]. Stan taki spowodowany był niewłaściwie eksploatowanymi małymi przydomowymi oczyszczalniami ścieków oraz nieuporządkowaną gospodarką ściekową na monitorowanym obszarze.

Celem badań było wstępne rozpoznanie jakości płytko zalegających wód gruntowych stanowiących źródło wody przeznaczonej do spożycia na terenach gminy Gorzyce. Cel zrealizowano wykonując badania składu fizykochemicznego wód gruntowych z uwzględnieniem tlenu rozpuszczonego, przewodności elektrolitycznej, BZT₅, kilku form azotu, fosforu ogólnego, fosforanów oraz jonów SO₄⁻, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ i Mg⁺⁺. W każdej próbce wody określano także poziom pH. Wyniki badań przedstawiono między innymi w postaci średnich stężeń składników z okresu badawczego (od 06.05. 2013 r. do 16.04.2014 r.) dla każdej studni. Obliczono również rozproszenie wartości stężeń miesięcznych wokół średniej dla całego roku obserwacji, odchylenie standar-

Tabela 1. Wykaz norm i metodyki badań**Table 1.** Standards and research methodology

Lp.	Wskaźnik zanieczyszczeń	Metodyka badań	Norma
1	pH	metoda potencjometryczna	PN-90/C-04540.01
2	Tlen rozpuszczony	metoda elektrochemiczna z czujnikiem tlenowym	PN-EN 25814:1999
3	Przewodność elektryczna	metoda konduktometryczna	PN-EN 27888:1999
4	BZT ₅	metoda specyficzna	PN-EN 1899-1:2002
5	SO ₄ ⁻	metoda chromatografii jonowej	PN-EN ISO10304-1: 2001
6	Na ⁺	metoda emisyjnej spektrometrii atomowej	PN-ISO 9964-1:1994
7	K ⁺		PN-ISO 9964-2:1994
8	Ca ⁺⁺	metoda absorpcyjnej spektrometrii atomowej	PN-EN ISO 7980:2002
9	Mg ⁺⁺		
10	Azot azotanowy	metoda spektrofotometryczna	PN-82C-04576/08
11	Azot azotynowy	metoda spektrofotometryczna	PN-EN 26777:1999
12	Azot amonowy	metoda spektrofotometryczna	PN-ISO 7150:2002
13	Azot ogólny wg Kjeldahla	metoda specyficzna	PN-EN 25663:2001
14	Fosfor ogólny	metoda spektrofotometryczna z mineralizacją z HNO ₃	PN-EN 1189-2000
15	Fosforany	metoda spektrofotometryczna	ISO 6878/1:2006

dowe oraz poszukano korelacji między poszczególnymi parametrami wody.

ZAKRES I METODY BADAŃ

Badaniami objęto wody pochodzące z 8 płytko kopanych studni (o konstrukcji betonowej i głębokości od 4,7 m do 7,5 m) zlokalizowanych na terenach wiejskich będących w stałym użytkowaniu. W rozpatrywanych wodach z ujęć indywidualnych pobierano do analiz fizykochemicznych próby i oznaczono parametry takie jak: pH, tlen rozpuszczony, przewodność elektrolityczna, BZT₅, formy azotu takie jak azot azotanowy, azotynowy, amonowy, Kjeldahla, fosfor ogólny oraz fosforany, jak również jony SO₄⁻, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ i Mg⁺⁺. Oznaczenia powyższych parametrów wykonano metodami referencyjnymi, które zestawiono w tabeli 1. Próby pobierano do polietylenowych pojemników o pojemności 1,5 dm³. Analizy fizykochemiczne wykonywane były w dniu pobrania próbek w Wydziałowym Laboratorium Wody i Ścieków Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Okres obserwacji obejmował przedział czasu od maja 2013 r. do kwietnia 2014 r. Przy każdym poborze próbek, który odbywał się z częstotliwością 1-go miesiąca dokonywano pomiaru położenia zwierciadła wody. Rezultaty badań laboratoryjnych poddano analizie statystycznej przy użyciu programu Statistica 2012 firmy StatSoft. Wartości większości badanych parametrów odniesiono do warto-

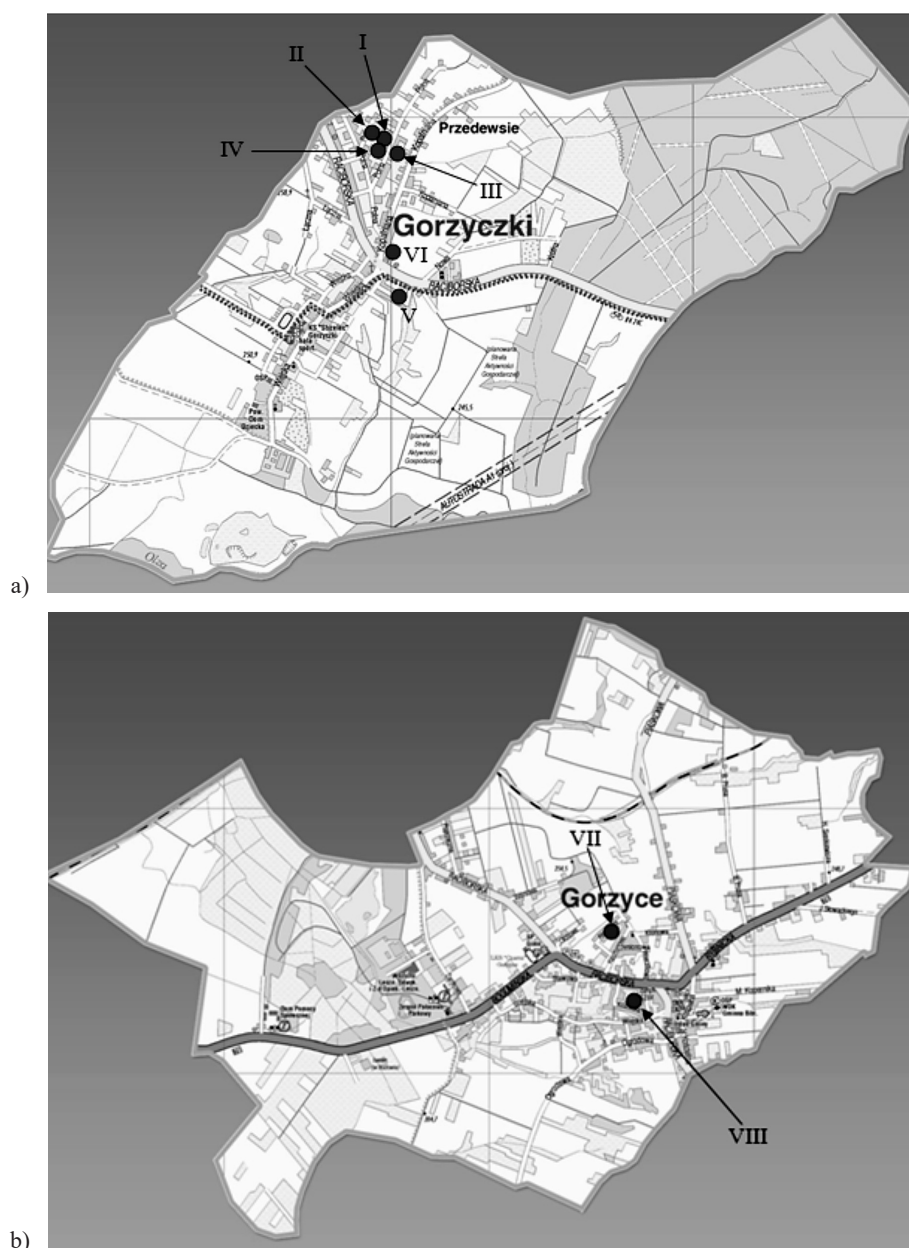
ści normowych wskazanych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 27 listopada 2015 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. poz.1989).

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obiekty badawcze (studnie) zlokalizowane są na terenach wiejskich gminy Gorzyce (wsie: Gorzyczki, Gorzyce) położonej w południowo-zachodniej części województwa śląskiego (rys. 1).

Obszar gminy ma charakter równinny lub łagodnie pagórkowaty, średnia wysokość wynosi 260–280 m n.p.m. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50000 charakteryzuje ten obszar jako zróżnicowany pod względem utworów geologicznych jak również ich przepuszczalności, ale pochodzących z tego samego okresu geologicznego. W strefach dolin rzecznych na analizowanym obszarze występują piaski oraz gliny rzeczne lub piaski i żwiry rzeczne tarasów zalewowych – oba utwory pochodzą z holocenu (czwartorzęd). Utwory geologiczne poza dolinami rzeczными w obrębie Gorzyc i Gorzyczek pochodzą z plejstocenu (czwartorzęd). Są to odpowiednio gliny zwałowe (oznaczenie numer 24) w okolicach Gorzyc, oraz piaski i żwiry wodnolodowcowe na łąkach (oznaczenie numer 21) w okolicach Gorzyczek (rys. 2).

W ramach wykonywania szczegółowej mapy Polski został wykonany przekrój geologiczny,

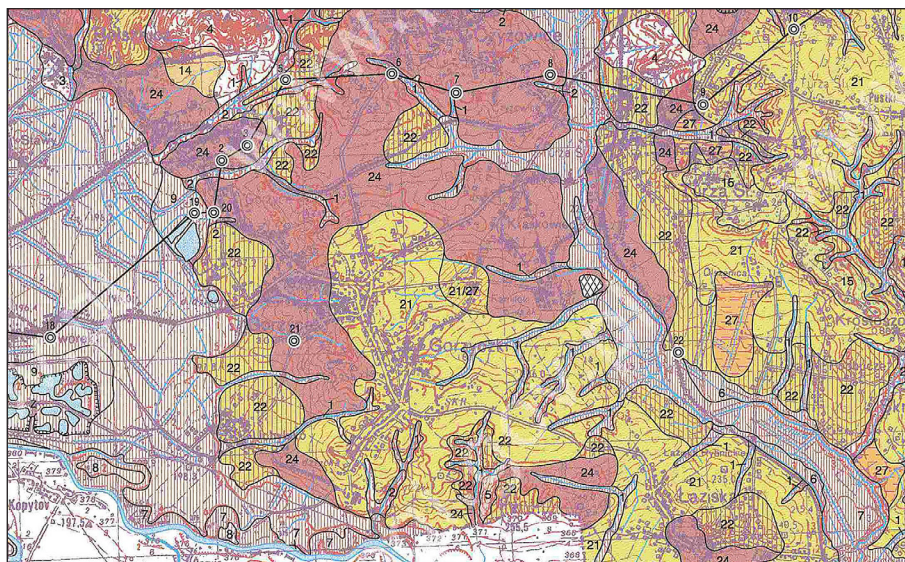


Rys. 1. Lokalizacja obiektów badawczych a) wieś Gorzyczki, b) wieś Gorzyce (na podstawie www.gorzyce.pl)
Fig. 1. Location of research objects a) village Gorzyczki, b) village Gorzyce
 (based on data from www.gorzyce.pl)

który przebiega na zachód i północ od Gorzyc, a którego szczegółowe odwierty znajdują się bezpośrednio przy osadzie [Drozd i Trzepla 1998]. Przekrój geologiczny opisuje stropy i spągi utworów geologicznych oraz ich rozpiętość w osi przekroju. W okolicach Gorzyc pierwszą warstwą są utwory pochodzące z plejstocenu w postaci kilkunastometrowej warstwy glin zwałowych. Poniżej znajdują się iły (warstwy grabowieckiej), iły z gipsami, anhydrytami i solą kamienną oraz iły margliste z wkładkami piaskowców i łupków, pochodzące z miocenu, których miąższość łącznie wynosi 200–300 m.

W przypadku gminy Gorzyce zbiorowy system zaopatrzenia w wodę obejmują 100% mieszkańców gminy, jednakże pomimo tego mieszkańcy nadal użytkują płytko kopane studnie. Woda pozyskiwana z tych studni stanowi uzupełnienie zasobów wody wykorzystywanych ze zbiorczej sieci wodociągowej i nadal stanowi jedno ze źródeł wody przeznaczonej na cele spożywcze. Charakterystykę obiektów badawczych (studni) przedstawiono w tabeli 2.

Sieć kanalizacji sanitarnej rozbudowana jest w dużo mniejszym stopniu niż wodociągowa. Ścieki bytowe powstające w budynkach miesz-



Rys. 2. Wycinek szczegółowej mapy geologicznej Polski arkusz Zabełków, okręg Gorzyce i Gorzyczki [Drozd i Trzepla 1998]

Fig. 2. Section of detailed geological map of Poland, sheet of Zabełków, district Gorzyce and Gorzyczki [Drozd i Trzepla 1998]

kalnych gromadzone są najczęściej w bezodpływowych zbiornikach oraz wywożone taborem asenizacyjnym do gminnej oczyszczalni ścieków. Na obszarze gminy funkcjonują również przydomowe oczyszczalnie ścieków z odprowadzeniem ścieków po wstępnym oczyszczeniu do gruntu.

WYNIKI BADAŃ, DISKUSJA

Miejsca poboru prób dobrano tak, aby objęły cały analizowany obszar. Pobrano 96 prób wody z analizowanych studni gospodarskich (tab. 3). W omawianym okresie badawczym tj. od maja 2013 r. do kwietnia 2014 r. odczyn wody z pojedynczego punktu poboru próbek nie był wyraźnie zróżnicowany, natomiast roczne wartości pH ze wszystkich analizowanych studni wahały się w granicach od 5,6 do 7,8. Grygorczuk-Petersons [2008] podaje, iż w przypadku wód podziemnych zdarzają się niższe wartości pH i dotyczy to głównie wód o wysokiej mineralizacji, co związane jest z obecnością w nich rozpuszczonego dwutlenku węgla. Przyjmuje się, że woda przeznaczona do picia powinna mieć pH z przedziału 6,5–9,5. W analizowanych studniach nie odnotowano wyraźnego zróżnicowania wartości pH. Wartości odnotowane podczas rocznych badań w przypadku przewodności wynosiły od 227 do 1019 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i mieściły się w zakresie przewidzianym dla wód naturalnych (100 – 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), jak i wody do picia (2500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Działalność rolnicza może istotnie wpływać na jakość wody, a płytkie ich zaleganie związane jest z ekspozycją na przenikanie zanieczyszczeń z powierzchni terenu. Stąd z uwagi na stosunkowo płytkie położenie zwierciadła wody poddano analizie zawartość tlenu rozpuszczonego (tab. 3). Zakres średniego stężenia tlenu rozpuszczonego wahał się w zakresie od 5,2 do 7,5 $\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$. W tym przypadku, wartość odchylenia standardowego zawierała się w przedziale od 0,4 do 1,7 $\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$. Jeśli chodzi o utlenialność, tj. wskaźnik świadczący o stopniu zanieczyszczenia wód związkami organicznymi, to badane wody charakteryzowały się średnimi wartościami BZT₅ w zakresie od 0,9 do 1,8 $\text{mg O}_2\cdot\text{dm}^{-3}$.

Średnie stężenia siarczanów w analizowanych próbkach wody kształtowały się w zakresie od 131,8 do 329,2 $\text{mg}\cdot\text{SO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$. Stwierdzono znaczne zróżnicowanie minimalnych wartości, które kształtowały się w granicach od 34,6 do 232,0 $\text{mgSO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$. Najwyższe wartości stężeń siarczanów, zarówno wartości średniorocznej jak i wartości minimalnej, odnotowano w studni III.

Według Grygorczuk-Petersons [2008] zwiększone stężenia siarczanów mogą być związane ze zwiększonym spalaniem węgla i drewna, jednakże w analizowanym przez autorów przypadku brak jest danych na potwierdzenie tej tezy. Bardziej prawdopodobny wydaje się być wpływ nieszczelnych zbiorników na nieczystości (osadników gnilnych), powszechnych na terenie gminy, stosowanych w przydomowych oczyszczalniach ścieków.

Tabela 2. Charakterystyka obiektów badawczych

Table 2. Characteristic of research objects

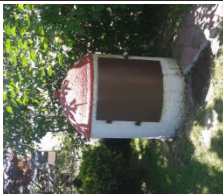
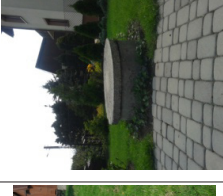
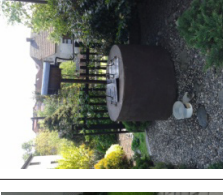
Obiekt badawczy								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Działka	Nr 1454/77, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi oraz nieużytkiem	Nr 1455/77, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi oraz nieużytkiem	Nr 843/77, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi	Nr 767/77, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi oraz nieużytkiem	Nr 1016/248, otoczona z dwóch stron nieużytkami, zlokalizowana u podnóża skarpy, stąd wszystkie spływy powierzchniowe kierują się na jej teren	Nr 2142/237, ograniczona drogą krajową, sąsiadująca także z polem uprawnym i innymi zabudowanymi działkami	Nr 867/18, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi	Nr 145, sąsiadująca z innymi działkami budowlanymi
Rzędna terenu	252,0 m n.p.m.	250,5 m n.p.m.	253,0 m n.p.m.	252,3 m n.p.m.	244,5 m n.p.m.	251,7 m n.p.m.	246,2 m n.p.m.	234,2 m n.p.m.
Budowa/głębokość studni	9 betonowych kręgów; Ø 0,9m, wys. 0,5 m/ gł. 4,7 m	9 betonowych kręgów; Ø 0,8 m, wys. 0,8 m/ gł. 7,5 m	9 betonowych kręgów; Ø 0,8 m, wys. 0,5 m/ gł. 7,5 m	9 betonowych kręgów; Ø 0,5 m, wys. 0,5 m/ gł. 4,7 m	10 betonowych kręgów; Ø 0,9 m, wys. 0,5 m/ gł. 5,5 m	14 betonowych kręgów; Ø 0,8 m, wys. 0,5 m/ gł. 7,3 m	9 betonowych kręgów, Ø 0,8 m, wys. 0,8 m/ gł. 7,5 m	9 betonowych kręgów, Ø 0,8 m, wys. 0,5 m/ gł. 7,5 m
Zabezpieczenie	Obudowa o wys. 0,5 m, od góry płyta betonowa z otworem czepnym przykrytym dwudzielną drewnianą klapą; obudowa górna, z daszkiem okapowym oraz kołowrotem, stanowiącą dodatkową ochronę	Betonowa obudowa o wys. 1,3 m; blaszana furka umożliwiająca bezpośredni dostęp do studni i kołowrotu	Cembrowina o wys. 0,3 m ponad powierzchnię terenu, przykryta częściowo płytą betonową, a częściowo płytą wiórową; dodatkowo studnia z dwóch stron obłożona jest luźno usypaną kostką granitową	Obudowa o wys. 0,5 m z betonową pokrywą, w której znajduje się otwór z blaszaną pokrywą, umożliwiającą bezpośredni dostęp do wody	Cembrowina o wys. 0,5 m ponad poziom terenu, przykryta betonową płytą	Cembrowina o wys. 0,4 m ponad powierzchnię terenu; od góry zabezpieczona płytą betonową, z otworem pokrytym blaszanym wiekiem, umożliwiającym czerpanie wody; dodatkowo szkielet górnej obudowy z kołowrotem	Cembrowina o wys. 0,3 m ponad powierzchnię terenu, przykryta od góry betonową płytą	Cembrowina o wys. 0,9 m ponad powierzchnię terenu, zabezpieczony dwudzielną pokrywą blaszaną, umożliwiającą pobór wody bezpośrednio ze studni za pomocą kołowrotu
Teren bezpośrednio wokół obiektu	Pokryty kostką betonową	Wyprofilowany, zadarniony, w części pokryty kostką betonową	Studnia położona tuż przy ścianie budynku. Teren wokół pokryty betonem	Obudowa styka się ze ścianą budynku. Teren wokół częściowo zadarniony, częściowo pokryty kostką betonową	Zadarniony	Zadarniony	Częściowo zadarniony, częściowo pokryty kostką brukową	Obiekt znajduje się na wzniesieniu; teren przylegający obsypany żwirem i pokryty roślinnością ozdobną
Fotografia								

Tabela 3. Tabelaaryczne zestawienie zmian wartości badanych wskaźników jakości wód gruntowych
Table 3. Summary of the changes in the indicators of analyzed groundwater

Charakterystyka	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Polożenia zwierciadła wody (pobór prób na głębokości) [cm]								
średnia	135,3	394,3	254,7	379,5	300,0	549,4	547,7	459,3
Min.	98	350	219	335	251	501	510	412
Max.	183	454	311	428	351	602	604	518
Odch. stand.	30,1	32,1	31,9	29,6	30,4	33,2	31,2	37,6
Współczynnik zmienności V	22,2	8,1	12,5	7,8	10,1	6,0	8,2	8,2
pH [-]								
średnia	-	-	-	-	-	-	-	-
Min.	5,6	5,3	5,8	5,8	6,1	5,0	5,9	6,6
Max.	6,9	7,4	6,7	6,7	7,0	6,8	6,7	7,8
Odch. stand.	-	-	-	-	-	-	-	-
Wartość dopuszczalna	6,5–9,5							
Przewodność [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]								
średnia	543,0	366,5	885,3	379,1	712,8	484,0	722,4	578,8
Min.	510	227	592	279	613	433	666	544
Max.	607	450	1019	444	985	615	811	638
Odch. stand.	26,8	68,8	105,6	62,8	127,5	53,0	49,7	29,3
Współczynnik zmienności V	4,9	18,8	11,9	16,6	17,9	10,9	6,9	5,1
Wartość dopuszczalna	2 500 / 100–1000 (dla wód naturalnych)							
SO_4 [mg $\text{SO}_4\cdot\text{dm}^{-3}$]								
średnia	172,0	142,4	329,2	131,8	187,5	186,3	170,1	144,9
Min.	34,6	37,8	232,0	45,3	67,5	95,4	78,9	41,1
Max.	233,6	246,8	404,0	226,3	378,4	306,9	273,2	201,6
Odch. stand.	54,1	57,6	43,4	57,6	99,5	72,6	55,8	51,1
Współczynnik zmienności V	31,4	40,5	13,2	43,7	53,1	38,9	32,8	35,3
Wartość dopuszczalna	250							
Na^+ [mg $\text{Na}\cdot\text{dm}^{-3}$]								
średnia	25,7	17,9	36,5	14,6	28,1	16,2	33,4	7,5
Min.	17,5	9,1	13,8	8,7	25,0	11,3	17,4	6,4
Max.	30,5	23,1	45,2	22,7	33,8	21,1	45,2	8,7
Odch. stand.	3,5	4,5	7,9	5,1	2,8	2,7	8,2	0,7
Współczynnik zmienności V	13,8	24,9	21,6	35,1	10,0	16,8	24,6	9,2
Wartość dopuszczalna	200							
K^+ [mg $\text{K}\cdot\text{dm}^{-3}$]								
średnia	15,2	3,0	7,3	5,7	34,8	8,4	8,9	2,3
Min.	10,2	2,3	6,5	4,1	29,5	5,6	6,8	1,3
Max.	17,9	5,1	9,5	9,3	38,6	11,5	12,5	4,9
Odch. stand.	2,2	0,8	0,9	2,0	2,3	2,0	1,4	1,1
Współczynnik zmienności V	14,7	25,7	12,1	34,1	6,6	23,2	15,4	47,8
Wartość dopuszczalna	12							
Ca^{++} [mg $\text{Ca}\cdot\text{dm}^{-3}$]								
średnia	39,5	29,7	102,5	34,3	71,0	47,1	77,0	89,7
Min.	18,5	12,7	73,0	20,9	48,8	28,0	43,8	58,8
Max.	61,2	90,7	123,9	52,1	105,5	88,7	107,3	105,5
Odch. stand.	11,8	20,6	17,5	10,4	21,7	21,4	22,5	16,8
Współczynnik zmienności V	27,8	69,3	17,0	30,4	30,5	45,4	29,2	18,7
Wartość dopuszczalna	150							
Mg^{++} [mg $\text{Mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]								
średnia	12,3	10,0	25,0	8,0	10,9	13,4	16,3	10,6
Min.	10,8	3,6	9,4	3,6	8,9	11,8	11,4	9,8
Max.	13,6	12,1	27,6	12,5	13,4	16,1	20,2	11,5
Odch. stand.	1,1	3,0	5,0	3,6	1,6	1,4	2,8	0,6
Współczynnik zmienności V	8,5	30,1	20,1	44,9	14,2	10,6	17,0	5,6
Wartość dopuszczalna	30–125							

Tabela 3 c.d.

Azotany [mg NO ₃ ·dm ⁻³]								
średnia	5,22	6,10	7,71	7,69	25,27	17,05	27,07	0,73
Min.	3,79	0,79	3,64	2,82	8,94	8,10	0,88	0,06
Max.	8,71	10,50	13,60	13,31	98,03	44,15	48,82	3,54
Odch. stand.	1,42	2,91	2,50	3,51	25,67	12,20	14,58	0,91
Współczynnik zmienności V	27,2	47,7	32,3	45,6	101,6	71,6	53,9	125,8
Wartość dopuszczalna	50							
Azotyny [mg NO ₂ ·dm ⁻³]								
średnia	0,0045	0,0062	0,0098	0,0106	0,4695	0,0134	0,0107	0,0050
Min.	0,002	0,0002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,0003
Max.	0,02	0,03	0,04	0,05	4,41	0,10	0,10	0,01
Odch. stand.	0,0055	0,0086	0,0130	0,0141	1,2691	0,0294	0,0283	0,0043
Współczynnik zmienności V	130,2	147,2	131,9	133,6	270,3	219,0	265,3	85,5
Wartość dopuszczalna	0,5							
Azot amonowy [mg NH ₄ ·dm ⁻³]								
średnia	0,02	0,01	0,09	0,04	0,21	0,04	0,05	0,04
Min.	0,010	0,001	0,008	0,002	0,016	0,003	0,004	0,004
Max.	0,040	0,040	0,304	0,150	1,420	0,160	0,210	0,140
Odch. stand.	0,01	0,01	0,10	0,05	0,42	0,04	0,08	0,04
Współczynnik zmienności V	63,5	102,8	114,9	139,2	198,3	109,3	226,5	112,3
Wartość dopuszczalna	0,5							
Azot ogólny [mg N·dm ⁻³]								
średnia	6,6	7,1	9,1	8,7	27,6	18,4	28,7	1,7
Min.	4,2	1,7	4,7	3,9	10,4	9,0	1,4	0,5
Max.	10,8	11,2	19,1	13,9	110,6	44,9	49,6	5,5
Odch. stand.	2,2	2,9	3,7	3,3	29,1	12,2	15,3	1,5
Współczynnik zmienności V	32,4	41,6	40,5	37,4	105,2	66,0	53,4	91,9
Fosfor ogólny [mg P·dm ⁻³]								
średnia	0,25	0,19	0,24	0,83	0,77	0,83	0,41	0,33
Min.	0,046	0,070	0,080	0,060	0,060	0,100	0,080	0,110
Max.	1,18	0,33	0,67	7,00	4,17	4,85	2,37	0,99
Odch. stand.	0,32	0,09	0,17	1,96	1,29	1,45	0,63	0,31
Współczynnik zmienności V	128,6	45,3	70,2	237,4	167,3	173,3	155,3	92,9
Fosforany [mg PO ₄ ·dm ⁻³]								
średnia	0,008	0,013	0,014	0,027	0,011	0,030	0,019	0,041
Min.	0,002	0,001	0,002	0,006	0,003	0,014	0,005	0,015
Max.	0,032	0,019	0,033	0,070	0,030	0,090	0,071	0,110
Odch. stand.	0,009	0,007	0,010	0,017	0,008	0,020	0,021	0,028
Współczynnik zmienności V	142,8	126,4	98,8	81,6	108,2	65,9	140,6	77,8
Tlen rozpuszczony[mg O ₂ ·dm ⁻³]								
średnia	7,5	5,6	6,5	7,1	5,2	6,3	7,4	5,7
Min.	6,6	3,8	5,4	4,9	3,4	4,5	6,0	4,3
Max.	8,1	8,5	8,2	10,0	7,2	7,5	9,2	7,7
Odch. stand.	0,4	1,7	0,9	1,6	1,2	1,0	0,9	1,2
Współczynnik zmienności V	5,9	29,8	14,7	21,2	22,4	15,6	12,0	21,5
BZT ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]								
średnia	1,2	1,1	1,2	1,8	0,9	1,4	1,1	1,1
Min.	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1
Max.	2,6	2,3	4,4	5,8	2,6	3,8	3,9	2,3
Odch. stand.	0,7	0,6	1,1	1,5	0,7	1,0	1,0	0,7
Współczynnik zmienności V	56,9	58,8	93,1	85,6	87,0	67,8	90,7	62,9

Niskie wartości N-NH_4 w badanych wodach studziennych, wraz z niskimi wartościami BZT₅ (tab. 3) zwykle sugerują, iż badane wody studienne nie są zanieczyszczone zanieczyszczeniami pochodzenia organicznego. Jednakże największym zróżnicowaniem średniego stężenia w wodach cechowały się właśnie zanieczyszczenia o charakterze biogennym.

Najniższa wartość średniorocznego stężenia azotu ogólnego wynosiła $1,7 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (dla studni VIII), a najwyższa wartość $28,7 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ (dla studni VII). Największe przeciętne stężenie azotanów stwierdzono w studni VII ($27,07 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$), natomiast najniższe w studni VIII ($0,73 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$). Wartości średnioroczne w przypadku azotynów były bardzo niskie, choć wartości odchylenia standardowego wahały się w szerokich granicach ($0,0043\text{--}1,2691 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$). W analizowanym okresie, w niektórych studniach stwierdzono stosunkowo wysokie stężenie azotynów zbliżone do dopuszczalnej wartości dla wód pitnych ($0,5 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$). W wodach pobranych ze studni V w listopadzie maksymalna zawartość azotynów wynosiła $4,41 \text{ mg NO}_2 \cdot \text{dm}^{-3}$. Tak wysokie zarejestrowane jednorazowo stężenie może wynikać z zanieczyszczeń powstałych z rozkładu białek zwierzęcych i roślinnych, które dostały się do wody (lokalny, chwilowy, niekontrolowany zrzut ścieków).

Stężenia azotanów w wodzie siedmiu badanych studni ($0,06\text{--}48,82 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$) nie przekraczały wartości dopuszczalnej dla wód przeznaczonych do picia, która wynosi $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [Rozporządzenie ... 2015]. Tylko w studni nr V w wodzie odnotowano maksymalne stężenie na poziomie $98,03 \text{ mg NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$. Zwykle zwiększone stężenia azotanów w wodzie wskazują na zanieczyszczenie tych wód odpadami bytowymi lub sztucznymi nawozami.

Stężenia fosforanów w analizowanych wodach, podobnie jak stężenia azotu amonowego były niskie i mieściły się w granicach $0,001\text{--}0,110 \text{ mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$, przy wartościach średnich w zakresie $0,008\text{--}0,041 \text{ mg PO}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$. W przypadku stężeń fosforu ogólnego mieściły się one w zakresie od $0,046$ do $7,00 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Pośród makroskładników przebadano najważniejsze dla człowieka pierwiastki takie jak: magnez (Mg^{++}), wapń (Ca^{++}), sód (Na^+) i potas (K^+). Wapń i magnez są odpowiedzialne za twardość wody, a sód i potas odpowiedzialne są m.in. za prawidłowe funkcjonowanie układu nerwowego człowieka. W większości z analizowanych

studni stężenie jonów mieściło się w wyznaczonej ustawowo normie, niemniej jednak zdarzały się pojedyncze przypadki, w których norma ta została przekroczona. Analizowane próby charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem stężeń. Stężenie potasu (K^+) w badanych wodach wynosiło od $2,3$ do $34,8 \text{ mg K}^+ \cdot \text{dm}^{-3}$. Tylko w dwóch analizowanych obiektach (studnia I oraz studnia V) średnioroczne stężenie K^+ przekraczało wartość $12 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Maksymalną wartość stężenia jonu Mg^{++} odnotowano w studni III i wynosiła ona $27,6 \text{ mg} \cdot \text{Mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, najniższą wartość zaobserwowano w przypadku dwóch studni II i IV ($3,6 \text{ mg Mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). W porównaniu z obowiązującą normą ($30\text{--}125 \text{ mg Mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), analizowana woda była uboga w magnez. Stężenie wapnia w badanych wodach było niskie i wynosiło od $12,7$ do $123,9 \text{ mg Ca} \cdot \text{dm}^{-3}$. Stężenie sodu w analizowanych próbach również było niskie (w odniesieniu do wartości normowej $200 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$) i wynosiło od $6,4$ do $45,2 \text{ mg Na} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 3).

Dla wszystkich badanych wskaźników jakości wody obliczono również współczynniki zmienności (V). Próbkę wody charakteryzowały się dużą zmiennością stężeń azotanów (studnia V i VII) jak również azotynów (studnie I–VII). Najwyższą zmienność tej formy azotu przedstawiały próbki wody pozyskiwane ze studni V, VI i VII. W przypadku azotu amonowego obserwowano dużą zmienność dla analizowanej wody w studni VII ($226,5\%$). Stężenia fosforu ogólnego wykazywały bardzo dużą zmienność w wodzie pochodzącej ze studni IV (tab. 3).

Stężenie azotanów, jest zwykle istotnie skorelowane ze stężeniami chlorków i magnezu, a ponadto z wartością BZT₅. W tym przypadku nie zaobserwowano wyraźnej różnicy. Podczas prowadzonej obserwacji widoczna była wyraźna zmienność stężeń azotu amonowego w zależności od miesiąca, w którym nastąpił pobór próbek. W okresie badawczym zanotowano sezonową zmienność stężeń azotu amonowego przejawiającą się we wzroście tego parametru w miesiącach zimowych.

Wykonana analiza wykazała, że wartości większości badanych wskaźników różniły się wyraźnie pomiędzy omawianymi obiektami. Analizowane parametry tylko w niektórych przypadkach wykazały silne lub bardzo silne zależności korelacyjne (analizę przeprowadzono po sprawdzeniu normalności rozkładu analizowanych parametrów). Dla studni I, IV, V, VI, VII

i VIII nie stwierdzono istotnych statystycznie korelacji pomiędzy obserwowanymi parametrami. W przypadku studni II współczynnik korelacji wskazywał na silną zależność korelacyjną ($r = -0,90$ korelacja b. silna) pomiędzy wartościami pH i stężeniem magnezu (rys. 3a). Natomiast dla studni III określono silną korelację pomiędzy stężeniami Mg^{++} i Na^+ ($r = -0,94$ korelacja b. silna) (rys. 3b).

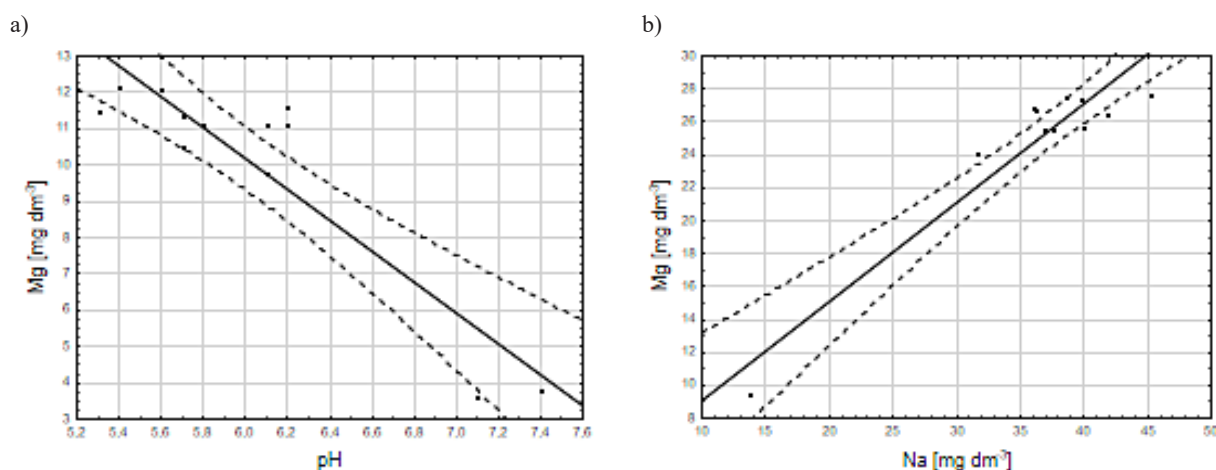
WNIOSKI

Pomimo rozwoju infrastruktury wodociągowej na terenach wiejskich w dalszym ciągu gospodarstwa domowe korzystają z dodatkowych źródeł wody jakimi są płytko kopane studnie. Ze względu na ich konstrukcję, pozyskiwana z nich woda pochodzi z płytkich głębokości, przez co może być zanieczyszczona na skutek działalności człowieka, między innymi poprzez odprowadzanie niewystarczająco oczyszczonych ścieków do gruntu, spływy z obszarów użytkowanych rolniczo, spływy powierzchniowe. Analizowane studnie znajdowały się na obszarze w pełni zwodociągowanym, jednakże wysoki stopień wyposażenia budynków w sieć wodociągową nie był równoznaczny z wysokim poziomem skanalizowania. Na monitorowanym terenie dominowały przydomowe oczyszczalnie ścieków oraz bezodpływowe zbiorniki na nieczystości, stąd też wysokie prawdopodobieństwo, że przekroczenia

obserwowanych parametrów spowodowane były nieuporządkowaną gospodarką ściekową.

Dla wybranych studni analizie poddano parametry jakościowe, które między innymi istotne są z punktu widzenia poboru wody na cele spożywcze. Obserwowane studnie charakteryzowały się wodą o niskim poziomie materii organicznej, o czym może świadczyć wartość BZT_5 (w zakresie od 0,1 do 5,8 $mg\ O_2 \cdot dm^{-3}$) i dość wysokim poziomem zawartości tlenu rozpuszczonego (w przedziale od 3,4 $mg\ O_2 \cdot dm^{-3}$ do 10,0 $mg\ O_2 \cdot dm^{-3}$). W przypadku badanych makroskładników przekroczenia dopuszczalnych standardów obserwowano jedynie dla jonów potasu (studnie I, V, VII). Na uwagę zasługuje niska zawartość jonów magnezu, sodu i stosunkowo niska jonów wapnia w monitorowanych próbkach. Woda o niskich zawartościach w/w jonów może stwarzać warunki do zachodzenia procesów korozji w przewodach wodociągowych.

Ponadto, analizując wyniki badań stwierdzono, że woda w studniach nr I–IV i VI–VIII nie wykazywała przekraczających normę stężeń azotanów (wartości wahały się w przedziale od 0,06 do 48,82 $mg \cdot NO_3 \cdot dm^{-3}$, azotynów (od 0,0003 do 0,100 $mg \cdot NO_2 \cdot dm^{-3}$) oraz azotu amonowego (od 0,001 do 0,304 $mg \cdot NH_4 \cdot dm^{-3}$). Natomiast w próbkach wody pobranych ze studni V notowano przekroczenia stężeń normowych w/w wskaźników azotowych. Spowodowane było to specyficznym położeniem studni – u podnóża skarpy, skąd wszystkie spływy powierzch-



Rys. 3. Zależności korelacyjne pomiędzy wybranymi parametrami w próbkach wody pobieranych ze studni: a) zależność między pH i Mg^{++} dla próbek studni II ($r = -0,90$ korelacja b. silna); b) korelacja pomiędzy Mg^{++} i Na^+ dla próbek studni III ($r = -0,94$ korelacja b. silna)

Fig. 3. Correlations between selected parameters in water samples collected from wells: a) correlation between pH and Mg^{++} in well II ($r = -0.90$ correlation very strong); b) correlation between Mg^{++} and Na^+ ($r = -0.94$ correlation very strong)

niowe i podpowierzchniowe kierowane były w stronę monitorowanego obiektu. Zwiększona zawartość związków azotowych w wodzie może świadczyć o zanieczyszczeniu wody nawozami sztucznymi lub fekaliami. Średnie wartości w przypadku fosforanów kształtowały się w analizowanych próbkach na poziomie od 0,008 do 0,041 mg·PO₄ dm⁻³, natomiast w przypadku stężeń fosforu ogólnego mieściły się one w zakresie od 0,19 do 0,83 mg P·dm⁻³.

Jakość analizowanej wody pobieranej z omawianych płytko kopanych studni związana była ze stanem technicznym studni oraz ich złym zabezpieczeniem. Wykonana analiza wykazała, że wartości większości badanych wskaźników różniły się wyraźnie pomiędzy analizowanymi obiektami. Jednakże dla pełnej oceny chemizmu wód konieczne jest prowadzenie ciągłych obserwacji w długich okresach czasu dających podstawę do rozpoznania sezonowej jak również wieloletniej zmienności stężeń analizowanych substancji.

LITERATURA

1. Berkowska E., Rasz H., Stankiewicz D. 2010. Infrastruktura Techniczna Wsi. Studia BAS, 4(24), 179–216.
2. Bilek M., Rybakowa M. 2014. Azotany (III) i (V) w wodzie pitnej studni kopanych i wierconych z terenu Podkarpacia jako czynniki ryzyka methemoglobinemii. Przegląd Lekarski, 71/10, 520–522.
3. Czajkowska A. 2010. Stopień zanieczyszczenia związkami biogennymi płytkich wód podziemnych w zagospodarowanej rolniczo części zlewni Bierawki. Górnictwo i geologia, 5(4), 91–103.
4. Drozd M., Trzepla M. 1998. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 990 – arkusz Zabełków (M-34–73-B). Warszawa. Państwowy Instytut Geologiczny.
5. Grygorczuk-Petersons E.H. 2008. Wpływ działalności rolniczej i bytowej w obrębie zagrody na jakość wód studziennych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 35/36, 117–123.
6. Gupta S.K., Gupta R.C., Chabra S.K., Eskiocak S., Gupta A.B., Gupta R. 2008. Health issues related to N pollution in water and air. Current Science 94, 11, 1469–1476.
7. GUS 2012, Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej.
8. Jaszczyński J., Sapek A., Chrzanowski S. 2006. Wskaźniki chemiczne wody do picia z ujęć własnych w gospodarstwach wiejskich na otulinie Biebrzańskiego Parku Narodowego. Woda Środowisko Obszary Wiejskie, 6, 2(18), 129–142.
9. Knobeloch L., Salna B., Hogan R., Postle J., Anderson J. 2000. Blue babies and nitrate-contaminated well water. Environmental Health Perspective, 108, 7, 675–678.
10. Nowak A., Libudzisz Z. 2008. Karcynogeny w przewodzie pokarmowym człowieka. Żywność, Nauka, Technologia, Jakość 4, 59, 9–25.
11. Nas B., Berktaş A. 2006. Groundwater contamination by nitrate in the city of Konya (Turkey), A GIS perspective. Journal of Environmental Management, 79, 1, 30–37.
12. Maier A., Krolak J., Randhawa K., Majury A. 2014. Bacteriological testing of private well water: A trends and guidelines assessment using five years of submission data from southeastern Ontario. Canadian Journal of Public Health, 105, 3, 203–208.
13. Pawęska K., Bawiec A., Włodek S., Maras R. 2015. Zmiany składu fizykochemicznego w wodach ujęciowych na terenach wiejskich powiatu kluczborskiego. Inżynieria Ekologiczna 44, 210–216.
14. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 27 listopada 2015 r. roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. nr 61 poz. 417).
15. Stan Sanitarny Kraju w roku 2014, Główny Inspektorat Sanitarny Warszawa.
16. <http://www.gorzyce.pl/> (data korzystania z zasobu 2016.03.20)