

Katarzyna DOŁŻYK¹
Iwona CHMIELEWSKA²

GĘSTOŚĆ ROZTWORÓW PIROFOSFORANU SODU I HEKSAMETAFOFORANU SODU W WODZIE

Roztwory pirofosforanu sodu i heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej są stosowane jako dyspergenty podczas analizy granulometrycznej gruntów, w których zachodzi koagulacja. W metodzie areometrycznej do określenia procentowej zawartości drobnych cząstek konieczna jest znajomość gęstości roztworu stosowanego do przygotowania zawiesiny gruntowej. Gęstość roztworów i zawiesin gruntowych jest mierzona areometrem. Do badania gęstości użyto trzech różnych areometrów wykalibrowanych przy pomiarze znanej gęstości wody destylowanej w różnych temperaturach. Zgodnie z zaleceniami norm geotechnicznych przygotowano roztwory pirofosforanu sodu i heksametafosforanu sodu. Badano roztwory pirofosforanu sodu o stężeniu 1, 2 i 3 g/l, heksametafosforanu sodu o stężeniu 2 i 4 g/l w temperaturze od 15,5 do 30°C.

Zależność gęstości roztworów pirofosforanu sodu i heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej jest podobna do zależności znanych z literatury gęstości roztworów chlorku sodu i wody destylowanej. Ponieważ zależność gęstości badanych roztworów pirofosforanu sodu i heksametafosforanu sodu od temperatury nie jest liniowa, współczynnik rozszerzalności objętościowej, podobnie jak wody destylowanej, nie jest stały. Wyniki badań mogą być pomocne do wprowadzania poprawki temperaturowej podczas analizy areometrycznej zawiesin gruntowych.

Słowa kluczowe: roztwory, analiza areometryczna, gęstości roztworów

1. Wprowadzenie

Skład granulometryczny gruntu jest podstawową cechą fizyczną. Niektóre grunty koagulują, zatem konieczne jest użycie dyspergentu. Norma [3] zaleca stosowanie dyspergentu w postaci roztworu pirofosforanu sodu lub heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej. Stosowanie dyspergentu jest szczególnie istotne w analizie granulometrycznej gruntów zawierających więcej niż 10%

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Katarzyna Dołżyk, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, tel. 797995980, k.dolzyk@pb.edu.pl

² Iwona Chmielewska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok, tel. 797995978, i.chmielewska@pb.edu.pl

cząstek drobnych, gdy wykorzystuje się kombinację metody sitowej i sedymentacyjnej [3, 4]. Podczas stosowania metody areometrycznej do oznaczenia zawartości cząstek drobnych konieczna jest znajomość gęstości roztworu przeznaczony do przygotowania zawiesiny gruntowej [3, 4]. Gęstość zawiesiny określano wykalibrowanymi areometrami stosowanymi w laboratoriach geotechnicznych, umożliwiającymi pomiar gęstości w zakresie od $0,995 \text{ g/cm}^3$ do $1,030 \text{ g/cm}^3$.

Ciecze w wyniku wahań wartości temperatury zmieniają zarówno swoją objętość, jak i gęstość [1, 2]. Współczynnik rozszerzalności objętościowej wody destylowanej nie jest stały i zależy od temperatury [2]. Należy się zatem spodziewać, że roztwory pirofosforanu sodu i heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej również nie będą miały stałego współczynnika rozszerzalności objętościowej.

Badania składu granulometrycznego są zwykle wykonywane w pomieszczeniach laboratoryjnych o różnej temperaturze. Badania wykonywano przy wartościach temperatury od 15°C do 30°C .

Do analizy areometrycznej norma [3] zaleca stosowanie roztworu pirofosforanu sodu o stężeniu ok. 2 g, heksametafosforanu sodu zaś ok. 4 g w litrze wody destylowanej. Są to małe stężenia, dlatego należy spodziewać się podobieństwa zależności zmian gęstości roztworów i wody destylowanej od temperatury.

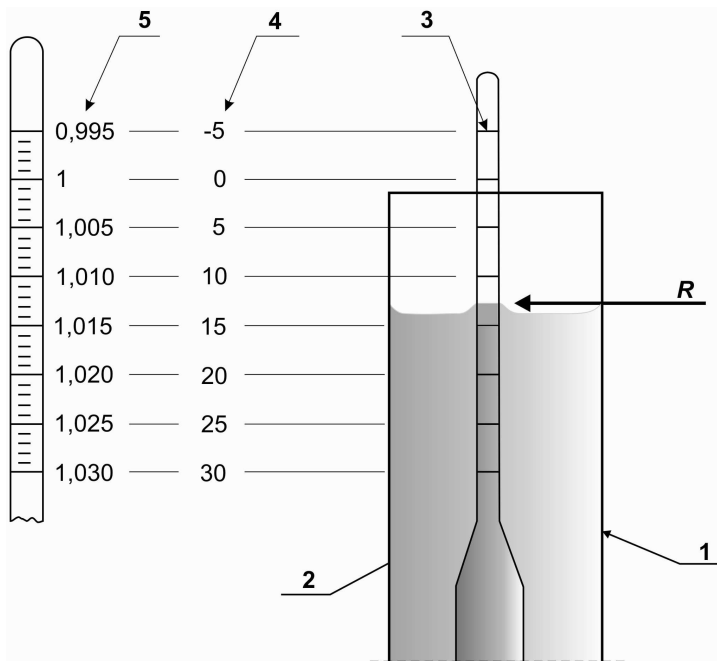
Podczas analizy areometrycznej gruntów, ośrodków rozdrobnionych, o małej gęstości właściwej konieczna jest duża dokładność określenia gęstości roztworu stosowanego do przygotowania zawiesiny gruntowej. W badaniach szczególną uwagę zwrócono na dokładność pomiarów gęstości roztworów.

2. Procedura badań

Kalibracja areometrów

Do badań użyto trzech laboratoryjnych areometrów oznaczonych dalej jako A_i ($i = 1, 2, 3$; A1, A2, A3) o różnym kształcie i tym samym zakresie pomiarów gęstości od $0,995$ do $1,030 \text{ g/cm}^3$, standardowo stosowanych do badań areometrycznych gruntów. Na skali areometrów jest oznaczony równoważny odczyt R_h gęstości badanej cieczy (rys. 1.). Ciecz, stykając się ze ściankami cylindra pomiarowego i rurką areometru, tworzy meniski (rys. 1.). Odczyt jest dokonywany z poziomu menisku (rys. 1.). Rzeczywiste zanurzenie areometru jest mniejsze o wartość menisku.

Wodę destylowaną zawartą w cylindrze pomiarowym oziębianą do temperatury ok. 15°C lub podgrzewano do ok. 30°C w wannie z oziębioną lub podgrzaną wodą. Cylinder z wodą destylowaną wyjmowano z wanny i co pewien czas, po wymieszaniu wody mieszadłem, dokonywano pomiarów gęstości trzema areometrami i temperatury termometrem laboratoryjnym. Wyniki pomiarów zestawiono w tab. 1. i pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Oznaczenia w badaniach areometrycznych: 1 – cylinder, 2 – roztwór, 3 – areometr, 4 – równoważne R_h , 5 – podziałka gęstościatywnej

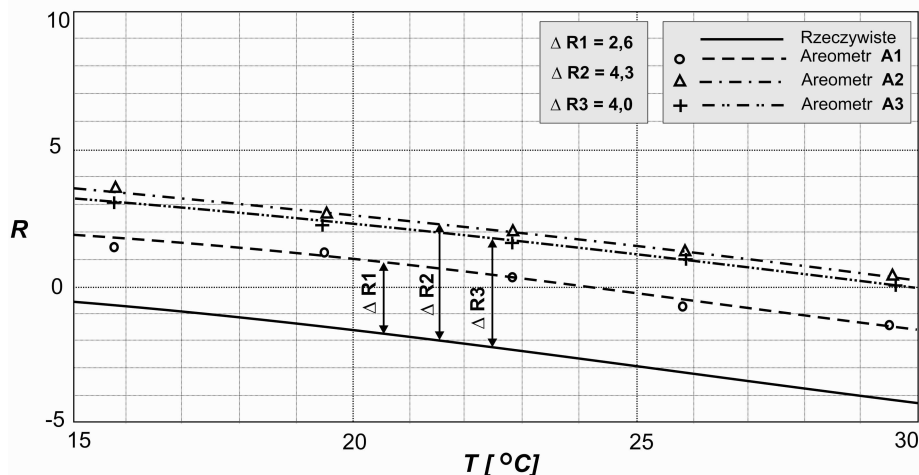
Fig. 1. Hydrometer analysis term: 1 – cylinder, 2 – solution, 3 – hydrometer, 4 – equivalent R_h , 5 – relative density scale

Tabela 1. Wyniki pomiarów gęstości wody destylowanej

Table 1. Test results of distilled water density

Areometr	Równoważne wartości odczytu R w różnej temperaturze				
	15,8°C	19,5°C	22,9°C	25,8°C	29,6°C
A1	1,4	1,4	0,3	-0,8	-1,6
A2	3,6	2,7	2,0	1,2	0,3
A3	3,1	2,3	1,6	0,9	0,0

Na rysunku 2. pokazano również wartości rzeczywiste (R_{rz}) dla wody destylowanej otrzymane z podanych w pracach [1, 2] gęstości wody destylowanej w różnych temperaturach. Przez punkty otrzymane z badań gęstości używanymi areometrami poprowadzono krzywe aproksymujące. Krzywe obrazujące równoważne wartości (R_i) dla poszczególnych areometrów są równoległe do krzywej obrazującej rzeczywiste wartości równoważne dla wody destylowanej (R_{rz}).



Rys. 2. Równoważne wartości R dla wody destylowanej

Fig. 2. Equivalent R values for distilled water

Odległość krzywej doświadczalnej dla danego areometru od krzywej rzeczywistej oznaczona jako ΔR_i ($i = 1, 2, 3$) jest poprawką kalibracyjną obliczoną z równania:

$$\Delta R_i = R_i - R_{rz}$$

Wartości ΔR_i odczytane z rys. 2. wynoszą: $\Delta R_1 = 2,6$, $\Delta R_2 = 4,3$ i $\Delta R_3 = 4,0$. Zatem kalibrację areometrów wykonano, używając wody destylowanej o różnych temperaturach w założonym wcześniej zakresie. Przyjęto, że określone z kalibracji wartości ΔR_i są prawidłowe również dla cieczy o nieco większych gęstościach niż woda destylowana.

Przygotowanie roztworów

Chemicznie czysty pirofosforan sodu i heksametafosforan sodu podgrzewano do temperatury 300°C i schładzano do temperatury pokojowej w przykrytych tygielkach umieszczonych w ekсыkatorze. Do około 100 ml wody destylowanej dodawano po 10 g tak przygotowanego pirofosforanu i heksametafosforanu sodu. W razie konieczności roztwór uzupełniano wodą destylowaną, aby otrzymać 100 ml roztworu o dużym stężeniu. Porcje w ilości: 10, 20 i 30 ml tak przygotowanego stężonego pirofosforanu sodu i 20 lub 40 ml stężonego heksametafosforanu sodu dolewano do wody destylowanej w temperaturze pokojowej, otrzymując jeden litr roztworu o mniejszym stężeniu. Stężenie roztworu określano odpowiednio jako 1, 2 i 3 g/l dla pirofosforanu sodu oraz 2 i 4 g/l dla heksametafosforanu sodu [3]. Precyzyjnie stężenie roztworu jest określone jako stosunek masy substancji rozpuszczonej do masy całego roztworu. Masa substancji i roz-

tworu nie jest zależna od temperatury, natomiast objętość roztworu jest związana z temperaturą. W badaniach areometrycznych gruntów dopuszcza się mniej precyzyjne określenie stężenia jako stosunek masy substancji rozpuszczonej do objętości roztworu w temperaturze pokojowej [3].

Badania gęstości

Podobnie jak przy kalibracji areometrów, cylinder z przygotowanym roztworem pirofosforanu sodu lub heksametafosforanu sodu oziębiany do temperatury ok. 15°C lub podgrzewany do ok. 30°C w wannie wodnej. Oziębiony lub

Tabela 2. Gęstości roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej przy różnych wartościach temperatury

Table 2. Density of sodium pyrophosphate solutions in distilled water at various temperatures

Gęstość roztworu pirofosforanu sodu o stężeniu 1 g/l w różnych temperaturach [g/cm ³]																			
15,6°C				18,4°C				21,0°C				24,1°C				29,5°C			
Areometr				areometr				areometr				areometr				areometr			
A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia
1,0005	1,0004	1,0009	1,0006	1,0007	1,0003	1,0005	1,0005	0,9999	0,9994	0,9998	0,9997	0,9992	0,9991	0,9987	0,9990	0,9976	0,9974	0,9971	0,9973
Gęstość roztworu pirofosforanu sodu o stężeniu 2 g/l w różnych temperaturach [g/cm ³]																			
15,8°C				19,0°C				21,8°C				25,5°C				30,0°C			
Areometr				areometr				areometr				areometr				areometr			
A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia
1,0027	1,0026	1,0022	1,0025	1,0018	1,0017	1,0022	1,0019	1,0014	1,0011	1,0011	1,0012	1,0004	1,0005	1,0000	1,0003	0,9991	0,9986	0,9990	0,9989
Gęstość roztworu pirofosforanu sodu o stężeniu 3 g/l w różnych temperaturach [g/cm ³]																			
15,5°C				18,2°C				20,8°C				24,6°C				29,7°C			
Areometr				areometr				areometr				areometr				areometr			
A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia
1,0043	1,0045	1,0005	1,0044	1,0040	1,0036	1,0039	1,0038	1,0033	1,0036	1,0037	1,0035	1,0022	1,0025	1,0026	1,0024	1,0011	1,0009	1,0005	1,0008

podgrzany cylinder z roztworem ustawiano na stole i co pewien czas, mieszając roztwór mieszadłem, mierzono gęstość trzema wcześniej wykalibrowanymi areometrami oraz temperaturę roztworu termometrem laboratoryjnym. W tabeli 2. przedstawiono wyniki badań gęstości roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej odpowiednio o stężeniu 1, 2 i 3 g/l. Podane gęstości otrzymano z pomiarów z uwzględnieniem poprawki (ΔR_i). W tabeli 3. zestawiono pomierzone gęstości roztworów heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej odpowiednio o stężeniu 2 i 4 g/l.

Tabela 3. Gęstości roztworów heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej przy różnych wartościach temperatury

Table 3. Density of sodium hexametaphosphate solutions in distilled water at various temperatures

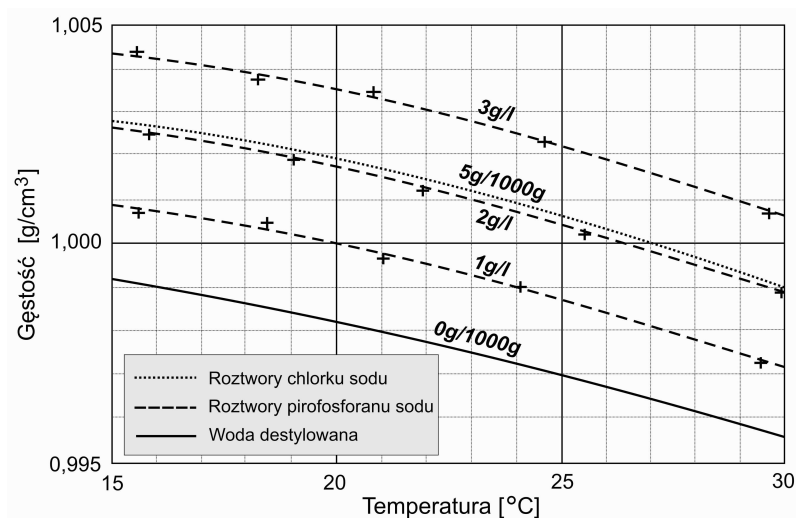
Gęstość roztworu heksametafosforanu sodu o stężeniu 2 g/l w różnych temperaturach [g/cm³]																			
15,8°C				19,5°C				22,0°C				24,8°C				29,7°C			
Areometr				areometr				areometr				areometr				areometr			
A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia
1,0011	1,0013	1,0015	1,0013	1,0012	1,0011	1,0008	1,0010	1,0006	1,0003	1,0002	1,0004	1,0010	0,9997	0,9999	0,9998	0,9985	0,9984	0,9980	0,9983
Gęstość roztworu heksametafosforanu sodu o stężeniu 4 g/l w różnych temperaturach [g/cm³]																			
16,3°C				20,4°C				24,3°C				26,5°C				28,6°C			
Areometr				areometr				areometr				areometr				areometr			
A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia	A1	A2	A3	średnia
1,0041	1,0036	1,0037	1,0038	1,0031	1,0028	1,0030	1,0030	1,0025	1,0023	1,0019	1,0022	1,0018	1,0019	1,0015	1,0017	1,0016	1,0011	1,0014	1,0013

3. Gęstość roztworów

Gęstość roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej

Na rysunku 3. przedstawiono średnie z pomiarów trzema areometrami wartości gęstości roztworów pirofosforanu sodu o stężeniu 1, 2 i 3 g/l. Przedstawiono również monotoniczne linie aproksymujące wyniki badań. Dla porównania na rys. 3. pokazano linię obrazującą zależność gęstości wody destylowanej [4] i linię obrazującą zależność od temperatury gęstości roztworu chlorku sodu

w wodzie destylowanej o stężeniu 5 g/1000 g roztworu. Wszystkie linie obrazujące zmiany gęstości roztworów są prawie równoległe do linii zmian gęstości wody destylowanej.



Rys. 3. Gęstość roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej

Fig. 3. Density of sodium pyrophosphate solutions in distilled water

Tabela 4. Gęstości roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej

Table 4. Density of sodium pyrophosphate solutions in distilled water

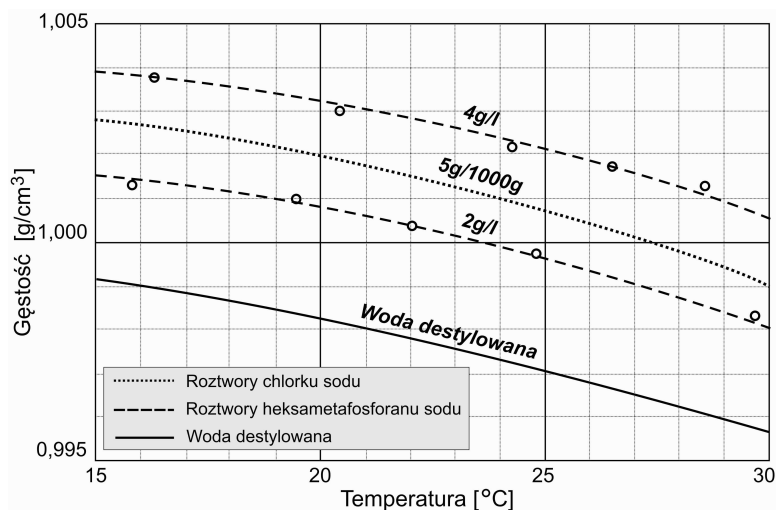
Stężenie roztworu [g/l]	Gęstość roztworów w temperaturze [g/cm ³]						
	15°C	17,5°C	20°C	22,5°C	25°C	27,5°C	30°C
1	1,00092	1,00047	1,00003	0,99945	0,99886	0,99817	0,99747
2	1,00272	1,00227	1,00183	1,00125	1,00066	0,99997	0,99927
3	1,00437	1,00392	1,00348	1,00290	1,00231	1,00162	1,00092

W tabeli 4. zestawiono gęstości roztworów pirofosforanu sodu w wodzie destylowanej odczytane z wykresów na rys. 3. dla wartości temperatury: 15, 17,5, 20, 22,5, 25, 27,5, 30°C.

Gęstość roztworów heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej

Na rysunku 4. za pomocą punktów zilustrowano średnie pomiarów trzema areometrami wartości gęstości roztworów heksametafosforanu sodu w wodzie destylowanej o stężeniu 2 i 4 g/l. Naniesiono również monotoniczne linie aprok-

symulujące wyniki badań. Na rysunku 4. pokazano zależność gęstości wody destylowanej [4] i linię obrazującą zależność od temperatury gęstości roztworu chloru sodu w wodzie destylowanej o stężeniu 5 g/1000 g roztworu. W przybliżeniu można przyjąć, że wszystkie linie obrazujące gęstości roztworów są równoległe do linii zmian gęstości wody destylowanej.



Rys. 4. Gęstość roztworów heksametfosforanu sodu w wodzie destylowanej

Fig. 4. Density of sodium hexametaphosphate solutions in distilled water

Tabela 5. Gęstości roztworów heksametfosforanu sodu w wodzie destylowanej

Table 5. Density of sodium hexametaphosphate solutions in distilled water

Stężenie roztworu [g/l]	Gęstość roztworów w różnej temperaturze [g/cm ³]						
	15°C	17,5°C	20°C	22,5°C	25°C	27,5°C	30°C
2	1,00169	1,00124	1,00080	1,00022	0,99963	0,99894	0,99824
4	1,00414	1,00369	1,00325	1,00267	1,00208	1,00139	1,00069

W tabeli 5. zestawiono gęstości roztworów heksametfosforanu sodu w wodzie destylowanej odczytane z wykresów pokazanych na rys. 4. dla wartości temperatury: 15, 17,5, 20, 22,5, 25, 27,5, 30°C.

4. Wnioski

Wykalibrowane areometry stosowane do analizy areometrycznej mogą być użyte do wyznaczania gęstości roztworów pirofosforanu sodu i heksametfosforanu sodu w wodzie destylowanej o małym stężeniu. Zależność gęstości bada-

nych roztworów od temperatury można uważać za identyczną z zależnością gęstości wody destylowanej od temperatury. Zależność gęstości roztworów od temperatury nie jest liniowa, zatem współczynnik rozszerzalności objętościowej nie jest stały.

Literatura

- [1] Kubrak J.: Hydraulika techniczna. Wydawnictwa SGGW, Warszawa 1998.
- [2] Mizerski W., Nowaczek W.: Tablice fizyczno-astronomiczne. Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995.
- [3] PKN-CEN ISO/TS 17892-4: Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczenia składu granulometrycznego. PKN, Warszawa 2009.
- [4] PN-88/B-04481: Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. PKN, Warszawa 1988.

DENSITY OF SODIUM PYROPHOSPHATE AND SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE SOLUTIONS IN WATER

Summary

Solutions of sodium pyrophosphate and sodium hexametaphosphate in distilled water are used as dispersing agents in grain-size analysis of soils, in which coagulation occurs. In hydrometer analysis in order to define the percentage of fine particle distribution it is necessary to know the solution density used to prepare soil suspension. The density of soil solutions and suspensions is measured by a hydrometer. Three different density hydrometers calibrated by measuring the well-known density of distilled water at different temperatures were used to measure the density.

In accordance with the geotechnical standards, solutions of sodium pyrophosphate and sodium hexametaphosphate were prepared. Solutions of sodium pyrophosphate were tested at 1, 2, and 3 g/l concentration and sodium hexametaphosphate – at 2, 4 g/l concentration at temperatures from 15.5 to 30°C.

The dependence of the density of sodium pyrophosphate and sodium hexametaphosphate solutions in distilled water is similar to the dependence of density of sodium chloride solution in distilled water, well-known from the literature. The dependence of the density of sodium pyrophosphate and sodium hexametaphosphate solutions on the temperature is not linear, therefore, the volume expansion coefficient, similarly to distilled water, is not constant. The test results can be helpful in temperature correction of the hydrometer analysis of groundwater suspensions.

Keywords: solutions, hydrometer analysis, solution density

Przyjęto do redakcji: 10.10.2014 r.

Przyjęto do druku: 02.12.2014 r.

DOI:10.7862/rb.2014.126

