

AGRESYWNOSC WÓD GRUNTOWYCH W ŚWIETLE WYMAGAŃ NORMY PN-EN 206-1. ODNIESIENIA DO OBSZARÓW ZURBANIZOWANYCH NA PRZYKŁADZIE AGLOMERACJI WARSZAWSKIEJ

Marek A. Patakiewicz
GEOTOR, Warszawa

Streszczenie. W nawiązaniu do kryteriów normy PN-EN 206-1 przedstawiono poszczególne składniki wody oddziałujące korozyjnie na beton, kryteria oceny korozyjności chemicznej wód gruntowych oraz klasy ekspozycji. Na przykładzie badań wód czwartorzędowych z obszaru aglomeracji warszawskiej omówiono zmienność poszczególnych czynników korozyjnych. Zostały wskazane te składniki chemizmu wód gruntowych, które mają statystycznie dominujący wpływ przy ocenie oddziaływań korozyjnych na beton.

Słowa kluczowe: korozja, agresywność, woda gruntowa, hydrogeochemia, czwartorzęd

WSTĘP

Zasadnicze elementy konstrukcji budowlanych wykonywane są głównie z betonu i żelbetu. Elementy te w trakcie eksploatacji narażone są na wpływ różnorodnych czynników środowiskowych oddziałujących niszcząco (korozyjnie) na powierzchnię i strukturę wewnętrzną betonu.

Różnorodne rodzaje środowisk, w jakich będzie pracować beton, oraz gradacja poszczególnych czynników niszczących charakteryzowane są poprzez klasy ekspozycji. Wśród 21 klas ekspozycji wydzielonych w normie PN-EN 206-1:2003 wyodrębniono 3 klasy związane z chemicznym oddziaływaniem korozyjnym wód gruntowych. Wody gruntowe należą bowiem do grupy tych czynników korozyjnych, które w sposób długotrwały, powszechny i ciągły mogą oddziaływać na każdą konstrukcję budowlaną zagłębianą w gruncie. Wiedza dotycząca stopnia agresywności chemicznej środowiska wód gruntowych ma szczególnie duże znaczenie w obszarach silnie zurbanizowanych i uprzemysłowionych, gdzie w warunkach wzmożonej antropopresji w sposób powszechny wy-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek A. Patakiewicz, GEOTOR Firma Usług Geotechnicznych, ul. Łąkocińska 12, 03-320 Warszawa, e-mail: marek@geotor.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

stępują głęboko posadowione betonowe i żelbetowe elementy konstrukcji budowlanych, związane m.in. z wielokondygnacyjnymi garażami podziemnymi, tunelami oraz posadowieniami pośrednimi [Patakiewicz 2014].

Woda podziemna stanowi złożony układ dyspersyjny, będący roztworem wodnym gazów i substancji stałych, które mogą występować w formie roztworów rzeczywistych, koloidalnych i zawiesin [Macioszczyk (red.) 2012]. Norma PN-EN 206-1:2003 w odniesieniu do wód gruntowych wyróżnia pięć czynników o charakterze chemicznym, mogących oddziaływać korozyjnie na beton. Są to: odczyn wody pH, stężenie agresywnego CO₂, stężenia jonów NH₄⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺. W zależności od poziomu koncentracji poszczególnych czynników korozyjnych wyróżnione zostały trzy klasy agresywności chemicznej wód gruntowych (tab. 1):

- XA1 (środowisko chemicznie mało agresywne),
- XA2 (środowisko chemicznie średnio agresywne),
- XA3 (środowisko chemicznie silnie agresywne).

Tabela 1. Wartości graniczne klas ekspozycji według PN-EN 206-1:2003 dotyczące agresywności chemicznej (korozyjnej) wody gruntowej

Table 1. Limiting values for exposure classes for chemical attack from groundwater according to EN 206-1:2003

Charakterystyka chemiczna Chemical characterization	Jednostka pomiaru Unit of measurement	XA1	XA2	XA3
		Środowisko chemicznie mało agresywne Slightly aggressive chemical environment	Środowisko chemicznie średnio agresywne Moderately aggressive chemical environment	Środowisko chemicznie silnie agresywne Highly aggressive chemical environment
pH	–	≤ 6,5 i ≥ 5,5	< 5,5 i ≥ 4,5	< 4,5 i ≥ 4,0
SO ₄ ²⁻	mg·dm ⁻³	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
CO ₂ agresywny CO ₂ aggressive	mg·dm ⁻³	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 i do nasycenia
NH ₄ ⁺	mg·dm ⁻³	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg ²⁺	mg·dm ⁻³	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 i do nasycenia

Klasę ekspozycji określa najbardziej niekorzystna wartość dowolnej pojedynczej charakterystyki chemicznej. Przy interpretacji wyników badań należy pamiętać o zasadzie normowej wskazującej, iż w przypadku gdy dwie charakterystyki chemiczne lub więcej wskazują na tę samą klasę agresywności, środowisko należy zakwalifikować do następnej, wyższej klasy (chyba że specjalne badania dotyczące tego szczególnego przypadku wykażą, że nie jest to konieczne).

Aglomeracja warszawska w granicach, jakie zostały określone w Planie Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego z 2004 roku [Uchwała... 2004] obejmuje: Warszawę, teren powiatu pruszkowskiego oraz części powiatów: warszawskiego zachodniego, piaseczyńskiego, legionowskiego, nowodworskiego, wołomińskiego, otwockiego, mińskiego, grodziskiego i żyrardowskiego. Obszar ten skupia 7,5% powierzchni województwa mazowieckiego i około 48% ludności.

Na terenie aglomeracji warszawskiej realizowana jest duża liczba obiektów budowlanych o znacznym zagłębieniu w gruncie i w ciągłym kontakcie z wodą gruntową. Wody gruntowe występujące w tym obszarze (w strefie zasięgu fundamentów budynków) są wodami wieku czwartorzędowego i występują w środowiskach budowlanych o dużym zróżnicowaniu tak pod względem budowy geologicznej, warunków zasilania i migracji wód podziemnych, jak i skali oddziaływania czynników zewnętrznych, związanych z działalnością człowieka.

Celem prowadzonych badań było ogólne rozpoznanie i analiza zmienności stężeń poszczególnych komponentów chemicznych charakteryzujących agresywność wód gruntowych na obszarze aglomeracji warszawskiej oraz wskazanie, które z analizowanych komponentów są decydujące przy klasyfikacji czwartorzędowych wód gruntowych tego obszaru.

METODYKA I MATERIAŁ BADAWCZY

Zbiorem badawczym był zestaw 54 analiz składu chemicznego czwartorzędowych wód gruntowych pochodzących z obszaru aglomeracji warszawskiej (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja punktów badawczych. Granice aglomeracji warszawskiej według Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego z 2004 roku

Fig. 1. Location of research sites. The borders of the Warsaw agglomeration by Spatial Development Plan for the Masovian Voivodeship [2004]

Próbki do analiz pobierano z głębokości mniejszej niż 10 m p.p.t., ze stref zakładanego możliwego oddziaływania wód gruntowych na fundamenty obiektów budowlanych. We wszystkich analizach chemicznych oznaczono zawartość składników korozyjnych wymaganych normą PN-EN 206-1, tj. odczyn wody pH, zawartość agresywnego CO₂, zawartość jonów NH₄⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺. Zdecydowana większość analiz chemicznych (ponad 98%) została wykonana w Laboratorium Analityczno-Technologicznym „KARTECH II”; zapewniało to powtarzalność warunków analitycznych wykonywanych badań (identyczny sprzęt badawczy, identyczna procedura oraz kultura prowadzenia badań). Stężenia poszczególnych składników korozyjnych określano zgodnie z normami i procedurami badawczymi:

- odczyn pH PGLB-04: 03.09.2003
- azot amonowy (NH₄⁺) PN-C-04576-4: 1994 + IGLB-08: 03.09.2003
- siarczany (SO₄²⁻) PGLB-10: 10.06.2003
- CO_{2agr} PGLB – 05: 03.09.2003
- magnez (Mg²⁺) PN-C/04554-4: 1999 Zał. A

Wszystkie analizy statystyczne zostały wykonane z wykorzystaniem pakietu Statistica 12. Analizę danych i obliczenia statystyczne prowadzono według poniższego schematu:

- gromadzenie wyników badań, weryfikacja poprawności wprowadzenia danych,
- określenie programu realizacji testów statystycznych w dostosowaniu do założonego celu badawczego i posiadanych zbiorów danych,
- obliczenie podstawowych statystyk opisowych i analiza normalności rozkładów analizowanych zmiennych,
- wnioskowanie statystyczne i merytoryczne.

W powyższym algorytmie uwzględniono zasady eksploracji danych podane przez Wątróbę [2009].

WYNIKI BADAŃ

Statystyki opisowe charakteryzujące zmienność poszczególnych komponentów agresywności wód gruntowych z rejonu Warszawy przedstawiono w tabeli 2. Poszczególne zmienne (czynniki korozyjne) należy rozpatrywać jako zmienne powiązane. Liczność każdej z grup zmiennych spełniała warunek licznosci dla prób dużych ($n > 30$) [Stanisz 2006].

Tabela 2. Statystyki opisowe charakteryzujące zmienność agresywności wód gruntowych z rejonu Warszawy (liczba próbek $n = 54$)

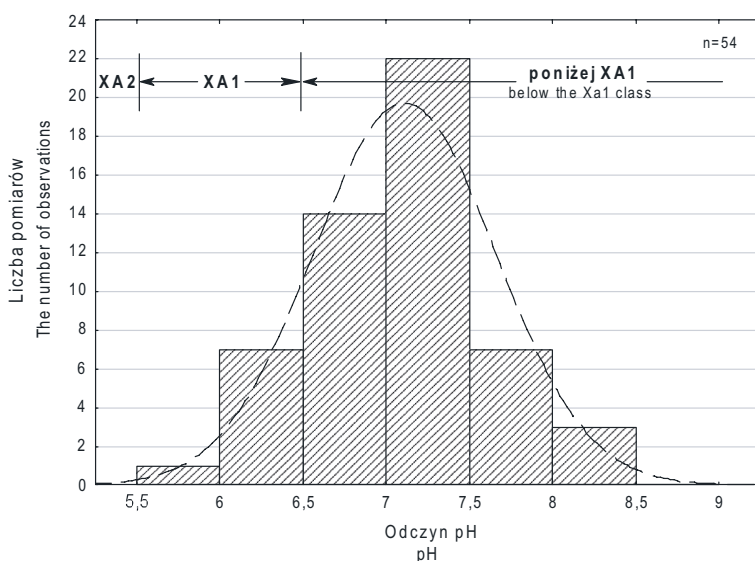
Table 2. Descriptive statistics characterizing the variability of aggressiveness of groundwater from the Warsaw region (number of samples $n = 54$)

Czynnik korozyjny Corrosion agent	Jednostka pomiaru Unit of measurement	Wartość średnia Average value	Mediana Median	Wartość minimalna Minimum value	Wartość maksymalna Maximum value	Rozstęp Range	Odchylenie standardowe Standard deviation
Odczyn pH pH value	–	7,1	7,18	5,77	8,32	2,55	0,55
SO ₄ ²⁻	mg·dm ⁻³	46,3	33,3	11,6	213,4	201,8	38,45

Tabela 2, cd.
Table 2, cont.

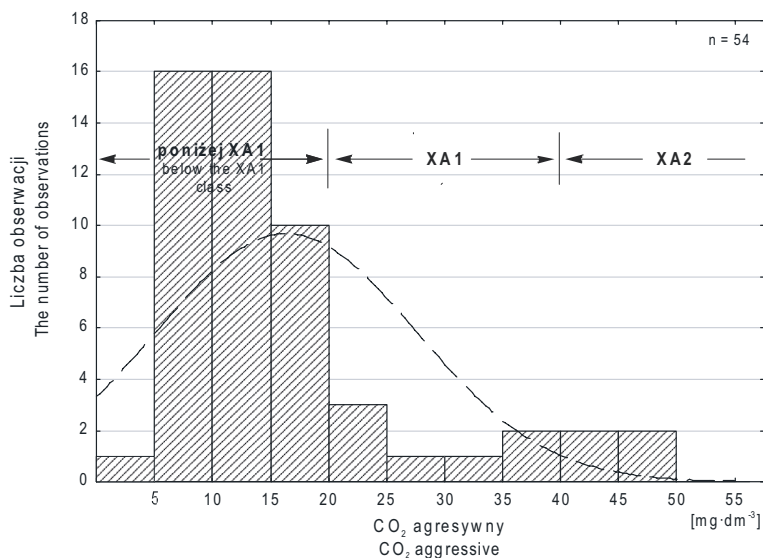
Czynnik korozyjny Corrosion agent	Jednostka pomiaru Unit of measurement	Wartość średnia Average value	Mediana Median	Wartość minimalna Minimum value	Wartość maksymalna Maximum value	Rozstęp Range	Odchylenie standardowe Standard deviation
CO _{2agr}	mg·dm ⁻³	16,3	12,6	0,0	47,6	47,6	11,12
NH ₄ ⁺	mg·dm ⁻³	0,54	0,22	0,03	4,12	4,09	0,86
Mg ²⁺	mg·dm ⁻³	15,5	16,7	3,1	30,9	27,8	6,74

Wyniki badań w postaci rozkładów empirycznych analizowanych zmiennych przedstawiono na histogramach (rys. 2–6). Większość analizowanych zmiennych charakteryzowała się rozkładami jednomodalnymi, za wyjątkiem rozkładu jonu NH₄⁺, który charakteryzował się rozkładem antymodalnym typu „J”. Analiza poszczególnych histogramów oraz rozkład wartości dominujących nie wskazywały na konieczność dodatkowego filtrowania i grupowania danych.



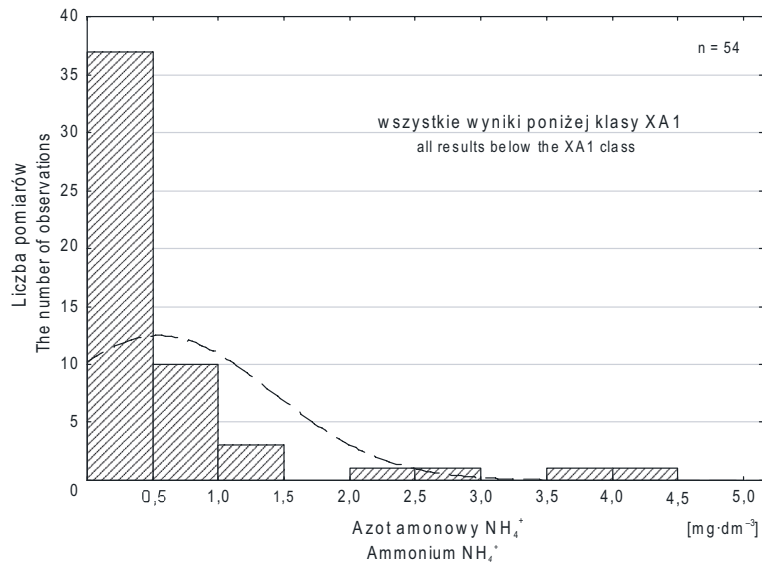
Rys. 2. Histogram odczynu pH w wodach gruntowych aglomeracji warszawskiej: - - - linia rozkładu normalnego

Fig. 2. Histogram of pH in groundwater of the Warsaw agglomeration: - - - the line of normal distribution



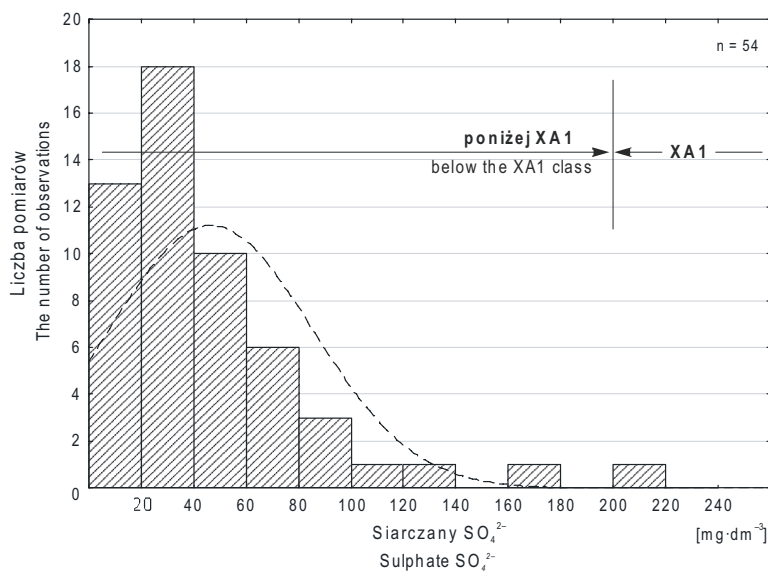
Rys. 3. Histogram stężeń agresywnego CO₂ w wodach gruntowych aglomeracji warszawskiej: --- linia rozkładu normalnego

Fig. 3. Histogram of aggressive CO₂ concentration in groundwater of the Warsaw agglomeration: --- the line of normal distribution



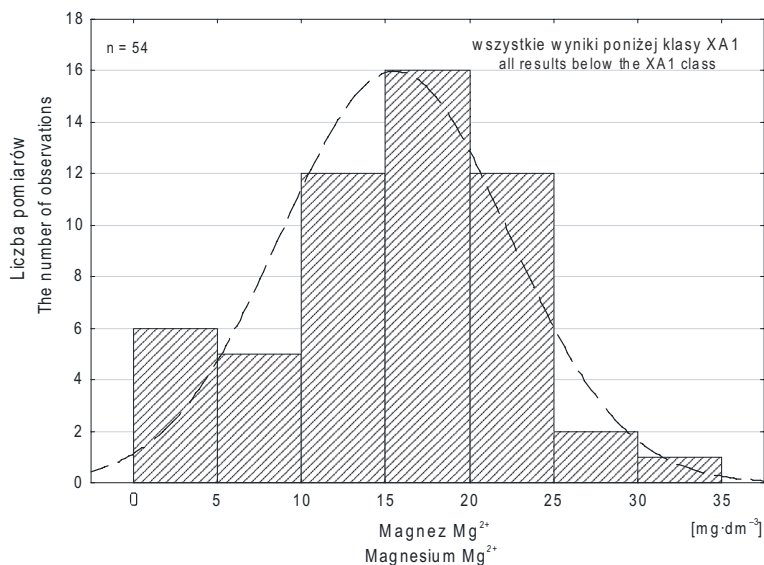
Rys. 4. Histogram stężenia jonu NH₄⁺ w wodach gruntowych aglomeracji warszawskiej: --- linia rozkładu normalnego

Fig. 4. Histogram NH₄⁺ ion concentration in groundwater of the Warsaw agglomeration: --- the line of normal distribution



Rys. 5. Histogram stężenia jonu SO_4^{2-} w wodach gruntowych aglomeracji warszawskiej: --- linia rozkładu normalnego

Fig. 5. Histogram SO_4^{2-} ion concentration in groundwater of the Warsaw agglomeration: --- the line of normal distribution



Rys. 6. Histogram rozkładu stężenia jonu Mg^{2+} w wodach gruntowych aglomeracji warszawskiej: --- linia rozkładu normalnego

Fig. 6. Histogram distribution Mg^{2+} ion concentration in groundwater of the Warsaw agglomeration: --- the line of normal distribution

Testowanie hipotez o normalności rozkładu analizowanych czynników korozyjnych przeprowadzono testem Shapiro-Wilka [Sobczyk 1995]. Wyniki testów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Testowanie hipotez o normalności rozkładu składników korozyjnych rozpuszczonych w wodzie gruntowej aglomeracji warszawskiej (poziom istotności $\alpha = 0,05$)
Table 3. Testing of hypotheses of the normality of distribution of corrosive elements dissolved in the groundwater of the Warsaw agglomeration (statistical significance $\alpha = 0.05$)

Czynnik korozyjny Corrosion agent	Liczebność zbioru Amount of elements	Wyniki testu Shapiro-Wilka Results of Shairo-Wilk test		
		wartość testu W the test W value	prawdopodobieństwo testowe p p -value of Shapiro-Wilk test	normalność rozkładu (tak/nie) normality of variable distribution (yes/no)
Odczyn pH	54	0,983	0,617	tak/ /yes
SO ₄ ²⁻	54	0,741	< 0,00001	nie/ /no
CO _{2agr}	54	0,787	< 0,00001	nie/ /no
NH ₄ ⁺	54	0,582	< 0,00001	nie/ /no
Mg ²⁺	54	0,970	0,202	tak/ /yes

W przypadku aglomeracji warszawskiej wyniki testów Shapiro-Wilka na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla zmiennych pH i Mg²⁺ nie dawały podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej zakładającej normalność rozkładu tych komponentów. W przypadku pozostałych czynników korozyjnych (NH₄⁺, SO₄²⁻, CO_{2agr}) hipoteza zerowa o normalności rozkładu tych zmiennych została odrzucona. Wartości prawdopodobieństw testowych p dla wszystkich analizowanych czynników korozyjnych przedstawiono w tabeli 3. W dalszych analizach – przy porównywaniu innych zbiorów wyników badań agresywności wód gruntowych – zgodność rozkładu (lub brak zgodności) z rozkładem normalnym może stanowić jedno z kryteriów grupujących.

W aglomeracji warszawskiej dominującym rodzajem wód gruntowych są wody o korozyjności poniżej klasy XA1 oraz zawierające się w klasie XA1 (87% analizowanych przypadków) – tabela 4. Agresywnością klasy XA2 charakteryzowała się co szósta z analizowanych próbek wód gruntowych (13% przypadków). W analizowanym zbiorze nie stwierdzono występowania wód gruntowych o agresywności korozyjnej klasy XA3.

W klasie agresywności XA2 czynnikiem kwalifikującym wody gruntowe do tej grupy korozyjności była przede wszystkim zawartość agresywnego CO₂ (≈85% przypadków), a następnie zsumowany efekt łącznego oddziaływania agresywnego CO₂ i odczynu pH, o stężeniu pojedynczego składnika mieszczącego się w klasie korozyjności XA1 (≈15% przypadków).

Tabela 4. Czwartorzędowe wody gruntowe aglomeracji warszawskiej – w podziale według klas agresywności

Table 4. Quaternary groundwater of the Warsaw agglomeration – by classes of aggressiveness

Wyszczególnienie Specification	Klasy agresywności Corrosion classes			
	poniżej XA1 below XA1	XA1	XA2	XA3
Liczba przypadków Number of cases	28	19	7	0
Procent przypadków Percent of cases	52%	35%	13%	0
Wartość procentowa skumulowana Percent cumulative value	87%		13%	

PODSUMOWANIE

W obrębie aglomeracji warszawskiej czynnikami o istotnym znaczeniu klasyfikacyjnym korozyjności czwartorzędowych wód gruntowych są: stężenie agresywnego CO₂ (agresywność węglanowa) oraz odczyn wody pH (agresywność kwasowa). Pozostałe czynniki korozyjne uwzględnione w normie PN-EN 206-1:2003 (tj. stężenia jonów: NH₄⁺, SO₄²⁻, Mg²⁺) nie mają istotnego wpływu klasyfikacyjnego z uwagi na ich relatywnie niskie stężenia. Za wyjątkiem jonu SO₄²⁻ stężenia te nie przekraczają dolnych progów kryteriów agresywności korozyjnej klasy XA1.

Rodzajem wód gruntowych dominującym w strefie posadowienia obiektów budowlanych w obrębie aglomeracji warszawskiej są wody o korozyjności klasy XA1 oraz poniżej klasy XA1. W analizowanym zbiorze taką agresywnością charakteryzowało się 87% badanych próbek wód gruntowych. Co szósta z analizowanych próbek wód gruntowych charakteryzowała się agresywnością klasy XA2 (13% przypadków). W analizowanym zbiorze nie stwierdzono występowania wód gruntowych o agresywności klasy XA3.

Na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ dla zmiennych pH i Mg²⁺ wyniki testów Shapiro-Wilka nie dają podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, mówiącej o normalności ich rozkładu. Założeń o normalności rozkładu nie spełniają rozkłady stężeń: agresywnego CO₂ oraz jonów NH₄⁺ i SO₄²⁻.

PIŚMIENNICTWO

- Macioszczyk, A. red. (2012). Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Patakiewicz, M. (2014). Agresywność korozyjna wód gruntowych – zmienność czynników korozyjnych na tle budowy geomorfologicznej Warszawy. W: Zastosowania statystyki i data mining w badaniach naukowych i innowacyjnych. Statsoft Polska, Kraków.
- Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego (2004). Uchwała Nr 65/2004 Sejmiku Województwa Mazowieckiego z dnia 7 czerwca 2004 r. w sprawie uchwalenia Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego.
- PN-EN 206-1:2003. Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- Sobczyk, M. (1995). Statystyka. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Stanisz, A. (2006). Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem Statistica PL na przykładach z medycyny. T. 1. Statystyki podstawowe. Statsoft Polska, Kraków.
- Wątroba, J. (2009). Eksploracja danych, testowanie hipotez badawczych i modelowanie zależności – przykłady w Statistica 9. W: Analiza danych w programie Statistica 9 – przegląd. Statsoft Polska, Kraków.

GROUNDWATER AGGRESSIVENESS IN RELATION TO THE REQUIREMENTS OF PN EN 206-1 STANDARD. REFERENCES TO URBAN AREAS ON THE EXAMPLE OF THE WARSAW AGGLOMERATION

Abstract. With regard to the PN-EN 206-1 standard, the individual corrosive components of water affecting concrete, criteria for evaluation of chemical corrosiveness of groundwater and class of exposure were presented. The variability of particular corrosive components was explained with the use of an example of Quaternary groundwater of the Warsaw agglomeration. Those chemical components of groundwater which have statistically dominant influence in evaluation of corrosive impact on concrete were indicated.

Key words: corrosion, aggressiveness, groundwater, hydrogeochemistry, Quaternary

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 31.08.2016

Cytowanie: Patakiewicz, M.A. (2016). Agresywność wód gruntowych w świetle wymagań normy PN-EN206-1. Odniesienia do obszarów zurbanizowanych na przykładzie aglomeracji warszawskiej. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (4), 103–112.