

Agresywność chemiczna płytkich wód podziemnych Wrocławia

Marta Tralka¹, Magdalena Modelska¹, Marek Błachowicz¹



M. Tralka



M. Modelska



M. Błachowicz

Chemical aggressiveness of shallow groundwater in Wrocław. *Prz. Geol.*, 69: 901–908; doi: 10.7306/2021.51

A b s t r a c t. Evaluation of the chemical aggressiveness of shallow groundwater for the area of Wrocław was performed in accordance with the Polish Standard (PN-EN 206+A1:2016-12). This standard requires determination of pH and concentration of ammonium, magnesium, sulphate and aggressive carbon dioxide in water. The research was carried out on 96 groundwater samples collected in the period March–May 2021 from Holocene, Pleistocene and Neogene deposits. The results show that 58% of shallow groundwater in Wrocław was aggressive towards concrete and steel. The slight (XA1), moderate (XA2) and high (XA3) aggressiveness was character-

istic for 32%, 23% and 3% of the analysed waters, respectively. The significant classification factors were the concentrations of aggressive carbon dioxide, sulphate ions and, less significant, pH. The presence of magnesium and ammonium ions in groundwater did not have any classification significance because of low concentrations. The occurrence of aggressive groundwater is associated with the environment of river sediments, mainly of Holocene and Pleistocene age. Groundwater beneath till and clay formations, mainly of Pleistocene age, and of anthropogenic banks and dumps shows significantly lower aggressiveness. Aggressiveness of groundwater sampled from the aquifer covered by Neogene clay deposit is not demonstrated. The aggressiveness of Wrocław groundwater shows a mosaic space character resulting from the geological structure of the city's subsurface formations and is probably also related to the form of land development. The most aggressive ones were associated with green, agricultural and liquidated municipal waste dump areas.

Keywords: chemical aggressiveness, shallow groundwater, Wrocław

Badania agresywności wód podziemnych są istotnym elementem oceny warunków gruntowo-wodnych niezbędnych w wyznaczaniu obszarów inwestycyjnych. Są szczególnie ważne na obszarach aglomeracji miejskich ze względu na ich szybką i szeroką rozbudowę. Z punktu widzenia warunków gruntowo-wodnych największe znaczenie ma agresywność płytkich wód podziemnych, najczęściej kontaktujących się z fundamentami oraz infrastrukturą konstruowaną z różnych metali, np. systemami rozprzodzenia i magazynowania różnego typu mediów. Ze względu na wysadzinowość gruntu, często nawet pod niewielkie inwestycje, fundamenty projektuje się poniżej głębokości jego przemarzania (w zależności od lokalizacji na obszarze Polski głębokość ta wynosi 0,8–1,4 m) (Gontaszewska, 2010). Agresywność chemiczna wód (korozyjna) jest określana względem betonu i stali, które w kontakcie z wodą o konkretnych parametrach chemicznych są narażone na szybsze niszczenie i degradację, co często prowadzi do wielu niepożądanych efektów i konieczności częstszej wymiany elementów wykonanych z tych materiałów (Chruszcz-Lipska i in., 2019). Znajomość parametrów wód podziemnych w zakresie wskaźników powodujących korozję pozwala na dobór odpowiednich materiałów budowlanych i ich odpowiednią izolację, co zapobiega negatywnym skutkom oddziaływania wód. Z formalnego punktu widzenia nie ma obowiązku wykonywania badań chemicznych wody, jednak należy wspomnieć, że zgodnie z zapisami rozporządzenia ministra transportu, budownictwa i gospodarki wodnej w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. 2012 poz. 463), jeśli zaistnieje potrzeba, należy zbadać parametry fizykochemiczne wód gruntowych dla kategorii geotechnicznych drugiej i trzeciej. Badania agresywności korozyjnej wód podziemnych (gruntowych)

względem betonu i stali są regulowane polską normą (PN-EN 206+A1:2016-12). Norma ta wskazuje na konieczność oznaczeń odczynu (pH) oraz stężenia jonów: siarczanowego, magnezowego, amonowego i zawartości agresywnego dwutlenku węgla w celu klasyfikacji wody na trzy środowiska: o słabej (XA1), umiarkowanej (XA2) i silnej (XA3) agresji chemicznej (tab. 1). O ostatecznej klasie agresywności wody decyduje wskaźnik o najgorszych parametrach. Wrocław jako prężnie rozwijająca się aglomeracja stanowi przykład obszaru, gdzie określenie warunków geologiczno-inżynierskich, w tym badania agresywności płytkich wód podziemnych (gruntowych), odgrywa kluczową rolę w budownictwie, geotechnice i inżynierii materiałowej.

OBSZAR BADAŃ

Powierzchnia Wrocławia wynosi 292,82 km², z czego 52,2% stanowią głównie tereny mieszkaniowo-usługowe, komunikacji i aktywności gospodarczej, a pozostałe to obszary zielone oraz rolnicze (Sroczyńska, 2018) (ryc. 1). Nowe inwestycje są planowane nie tylko w centrum miasta, ale również na jego obrzeżach. Warunki występowania płytkich wód podziemnych są bardzo zróżnicowane zarówno pod względem geologii, jak i struktury użytkowania terenu.

Warstwy przypowierzchniowe obszaru Wrocławia tworzą osady rzeczne, rzeczno-lodowcowe i glacialne holocenu i plejstocenu, a podrzędnie neogenu (ryc. 2). Najmłodsze utwory są związane z główną doliną rzeki Odry i jej dopływami i są wykształcone głównie w postaci piasków i żwirów rzecznych, ilów, mułków oraz namulów osadzonych na tarasach zalewowych. Osadami plejstocenu

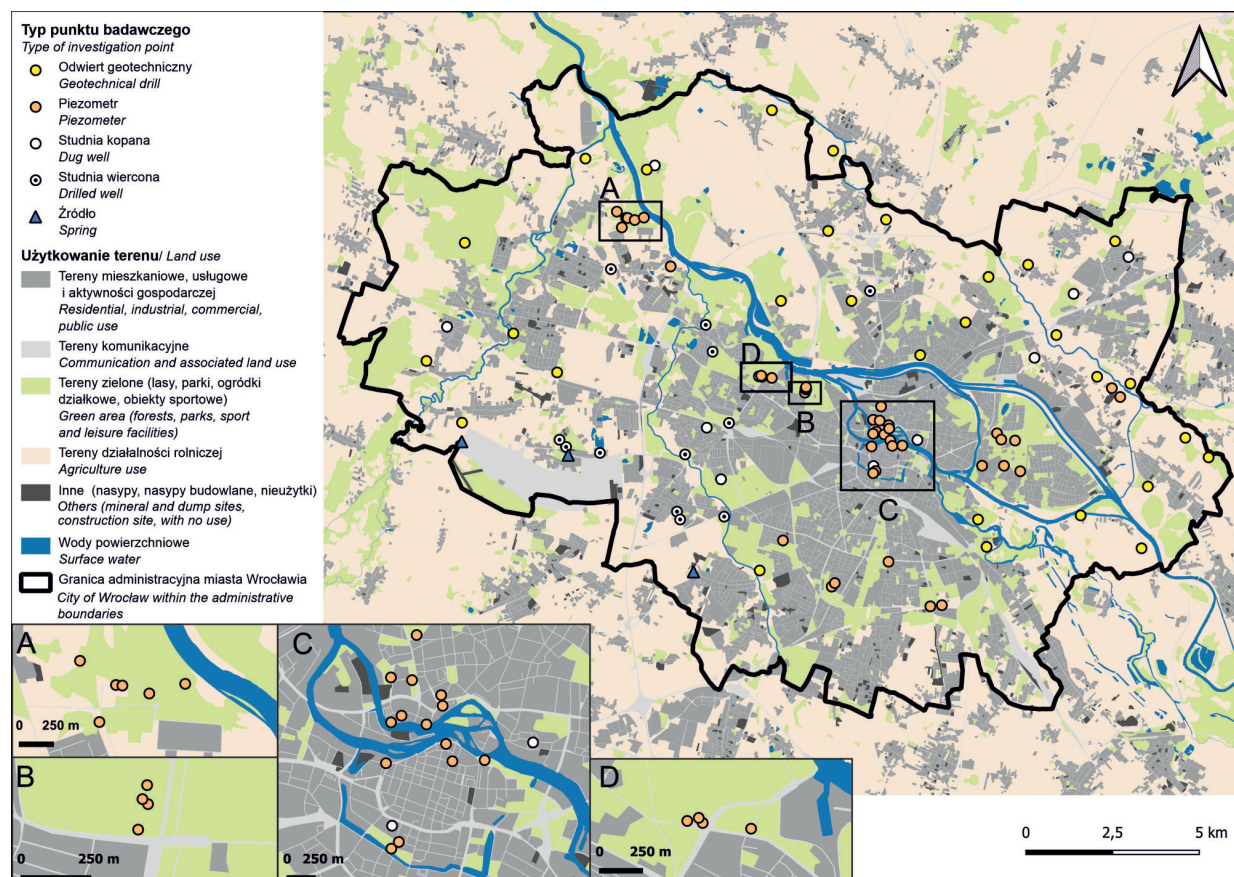
¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; marta.tralka@uwr.edu.pl, magdalena.modelska@uwr.edu.pl; marek.blachowicz@uwr.edu.pl

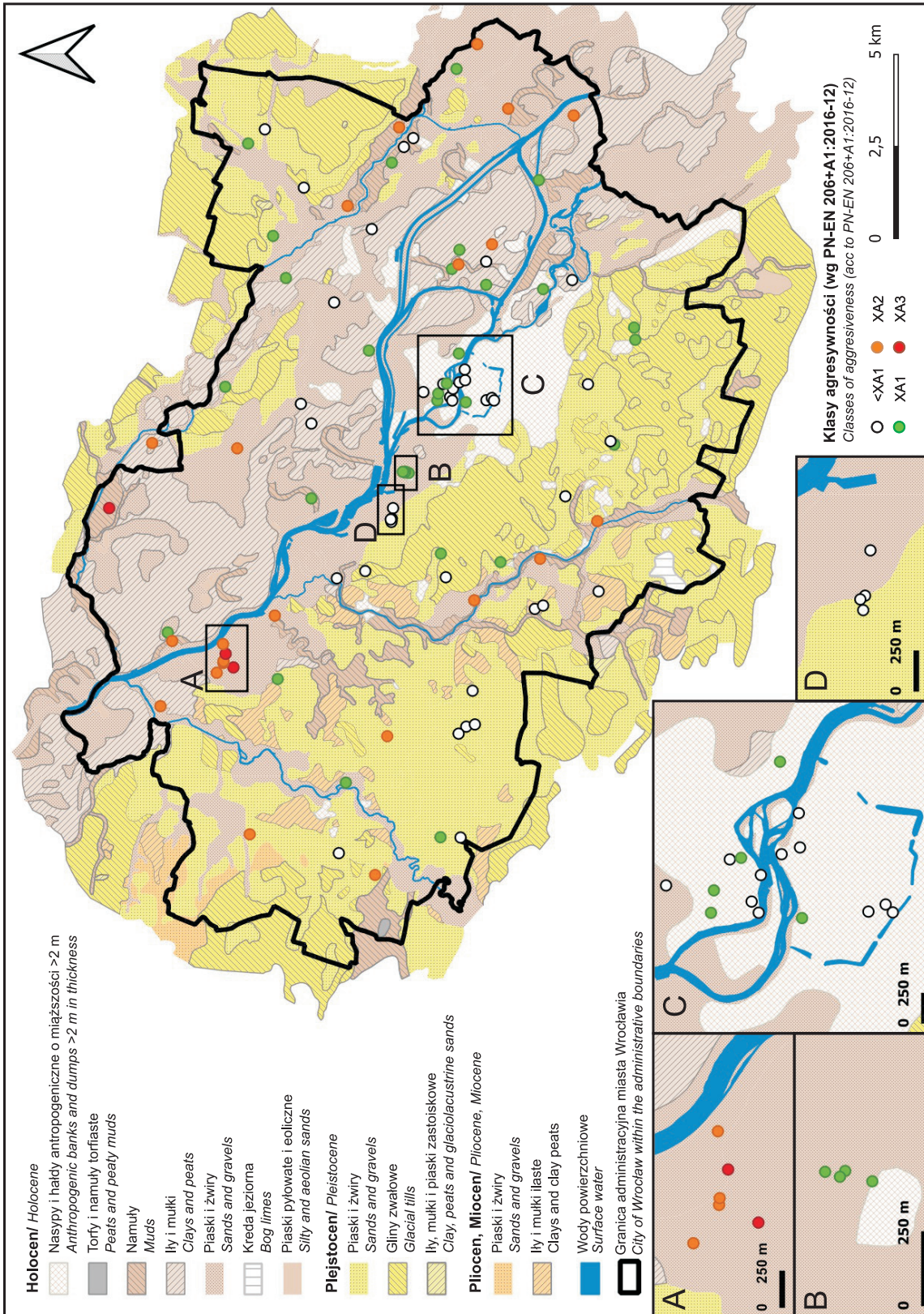
Tab. 1. Wartości graniczne klas ekspozycji według PN-EN 206+A1:2016-12 dotyczące agresywności chemicznej (korozyjnej) wód podziemnych (gruntowych)**Table 1.** Limit values of exposure classes according to PN-EN 206+A1:2016-12 regarding chemical (corrosive) aggressiveness of groundwater

Parametr Parameter	Jednostka Unit	XA1 Środowisko chemiczne mało agresywne <i>Slightly aggressive chemical environment</i>	XA2 Środowisko chemiczne średnio agresywne <i>Moderately aggressive chemical environment</i>	XA3 Środowisko chemiczne silnie agresywne <i>Highly aggressive chemical environment</i>
pH	–	$\leq 6,5$ i $\geq 5,5$	$< 5,5$ i $\geq 4,5$	$< 4,5$ i $\geq 4,0$
Mg ²⁺	mg/dm ³	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 i do nasycenia
NH ₄ ⁺	mg/dm ³	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
SO ₄ ²⁻	mg/dm ³	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
CO ₂ agr.	mg/dm ³	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 i do nasycenia

o genezie wodno-lodowcowej są gliny zwałowe, ily i mułki zastoiskowe oraz piaski i żwiry. Te ostatnie, również o genezie rzecznej, tworzą najwyższe piętra tarasów nadzalewowych doliny Odry. Utwory neogenu to głównie ily, mułki ilaste oraz piaski i żwiry (pliocenu i miocenu) odsłaniające się w zachodniej i południowo-zachodniej części miasta (ryc. 2) (Gizler, 1982; Winnicka, 1985; Winnicki, 1985; Łabno, 1986). Przypowierzchniową warstwę podłoża, zwłaszcza w centrum, stanowią nasypy o genezie antropogenicznej – ściśle związane z historią rozwoju osadnictwa i terenami zabudowy. W średniowiecznej części miasta jest to rodzaj piaszczysto-organicznej mierzwy, a w jego pozostałej części – przesypanie piaszczyste i grzyzy ceglane o miąższości lokalnie przekraczającej 5 m (Chmal, Traczyk, 2001).

Na obszarze badań pierwsze zwierciadło wód podziemnych jest przeważnie swobodne, a tylko w rejonach występowania słabo przepuszczalnych nasypów oraz glin występuje pod niewielkim ciśnieniem (Żuk, 2000). Przy powierzchniowe wody podziemne występują na głębokości od ~7,0 do 0,4 m p.p.t. W centrum miasta pierwsze zwierciadło wód podziemnych stwierdzono na głębokości 3,22–6,62 m p.p.t. (obserwacje własne z okresu poboru próbek: marzec–maj 2021). Wahania zwierciadła mają związek z ustalonymi warunkami piętrzenia – zwłaszcza na jazach Wrocławskiego Węzła Wodnego, Elektrowni Wodnej oraz stałych odwodnień (Worsa-Kozak i in., 2008; Worsa-Kozak, Kotowski, 2009). Jakość płytkich wód podziemnych jest narażona na silne wahania ze względu na narastającą antropopresję, szczególnie na obszarach, gdzie

**Ryc. 1.** Lokalizacja punktów pomiarowych na tle zagospodarowania terenu Wrocławia. Zagospodarowanie terenu: Program Copernicus, Urban Atlas 2018 – zmienione**Fig. 1.** Location of measurement points on the background of land development of the city of Wrocław. Land use: Copernicus Programme, Urban Atlas 2018 – modified



Ryc. 2. Klasy agresywności płytkich wód podziemnych Wrocławia na tle uproszczonej budowy geologicznej utworów pokrywowych. Na podstawie SMGP 1 : 50 000 arkusze: 726 (Gizler, 1982), 763 (Labno, 1986), 727 (Winnicki, 1985), 764 (Winnicka, 1985) – zmienione
Fig. 2. Classes of aggressiveness of shallow groundwater in Wrocław on the background of simplified geological settings of cover deposits. Based on DGMP 1 : 50,000 sheets: 726 (Gizler, 1982), 763 (Labno, 1986), 727 (Winnicki, 1985), 764 (Winnicka, 1985) – changed

brak jest izolacji tej warstwy od powierzchni terenu. Wody podziemne zurbanizowanej części miasta oraz wybranych, poddanych antropopresji obszarów podmiejskich są silnie zmineralizowane (do 2 g/dm³). Stężenie siarczanów sięga w nich 0,7 g/dm³, a niekiedy przekracza tę wartość. Obserwuje się również podwyższenie stężenia jonów chlorkowych, azotanowych, manganowych i potasowych. Na obszarach nieobjętych antropopresją wody charakteryzują się podwyższeniem stężenia jonów żelazowych i manganowych, obojętnym odczynem oraz mineralizacją rzędu 700 mg/dm³ (Żuk, 2000).

METODY BADAŃ

Na potrzeby opisanych badań, w okresie od marca do maja 2021, pobrano 96 próbek płytkich wód podziemnych z piezometrów (43 punkty pomiarowe), studni wierconych (12), studni kopanych (9), źródeł (3) oraz odwiertów geotechnicznych (tymczasowych minipiezometrów o średnicy wewnętrznej 14 mm) (29). Punkty te zlokalizowano, w miarę możliwości, na terenie całego Wrocławia (ryc. 1). Pobrane z nich wody podziemne pochodzą z obszarów o zróżnicowanej budowie geologicznej (piaski i żwiry, ropy i mułki, gliny zwałowe, namuły i nasypy), różnym wieku utworów wodonośnych (holocen, plejstocen, neogen) oraz odmiennym zagospodarowaniu terenu (ryc. 1, 2). Każdorazowo przed poborem wód z otworów wykonywano pompowanie pompką perystaltyczną, a próbki wody pobierano do odpowiednio przygotowanych plastikowych butelek. W czasie prac terenowych dokonywano pomiaru głębokości zwierciadła wód podziemnych (tab. 2) oraz pomiaru temperatury i odczynu wody (wykalibrowanym miernikiem wieloparametrycznym Elmetron CX-461 z elektrodą pH-metryczną oraz sondą termiczną). W dniu pobrania próbki wody przewożono do Pracowni Geologii Środowiskowej Zakładu Hydrogeologii Podstawowej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego i bezzwłocznie poddawano analizom chemicznym. Analizy laboratoryjne parametrów agresywności wód względem betonu i stali obejmowały wskaźniki wymienione w polskiej normie (PN-EN 206+A1:2016-12). Temperatura wód podczas poboru kształtowała się w zakresie 5,3–17,9°C. Próbkę wód przed analizą rozcieńczano od 2 do 50 razy oraz filtrowano przez filtry 0,45 µm. Oznaczenia stężenia jonów magnezowych, amonowych i siarczanowego wykonano metodą chromatograficzną wysokosprawnym chromatografem cieczowym (HPLC) *Waters Alliance Solvent e2695* z użyciem detektora konduktometrycznego *Waters 432* z dokładnością do 0,01 mg/dm³. W celu kontroli wyników wybrane próbki poddano analizom instrumentalnym oraz spektrofotometrycznym metodom zalecanym w normie PN-EN 206+A1:2016-12: oznaczenie jonu magnezowego

Tab. 2. Punkty pomiarowe we Wrocławiu z uwzględnieniem głębokości występowania pierwszego zwierciadła wód podziemnych
Table 2. Measurement points in Wrocław, taking into account the depth to the first groundwater level

Głębokość pierwszego zwierciadła wód podziemnych [m p.p.t.] <i>The depth to the first groundwater level</i>	Liczba punktów <i>Number of points</i>
0,0–1,0	16
1,0–2,5	36
2,5–3,5	19
3,5–5,5	19
>5,5	6

wego metodą miareczkową z EDTA oraz metodą spektrofotometryczną HACH DR/2010 nr 8051 dla jonu siarczanowego. Analizę zawartości agresywnego CO₂ w wodzie wykonano metodą Heyera opartą na reakcji agresywnego CO₂ ze sproszkowanym marmurem (CaCO₃), w wyniku której powstają jony wodorowęglanowe, które poddaje się miareczkowaniu kwasem solnym względem oranżu metylowego (Hermanowicz i in., 1999; Witczak i in., 2013).

Analizę statystyczną wyników badań wykonano z wykorzystaniem pakietu Statistica 13. Mapy wykonano za pomocą oprogramowania QGIS Desktop 3.12.1.

WYNIKI I DISKUSJA

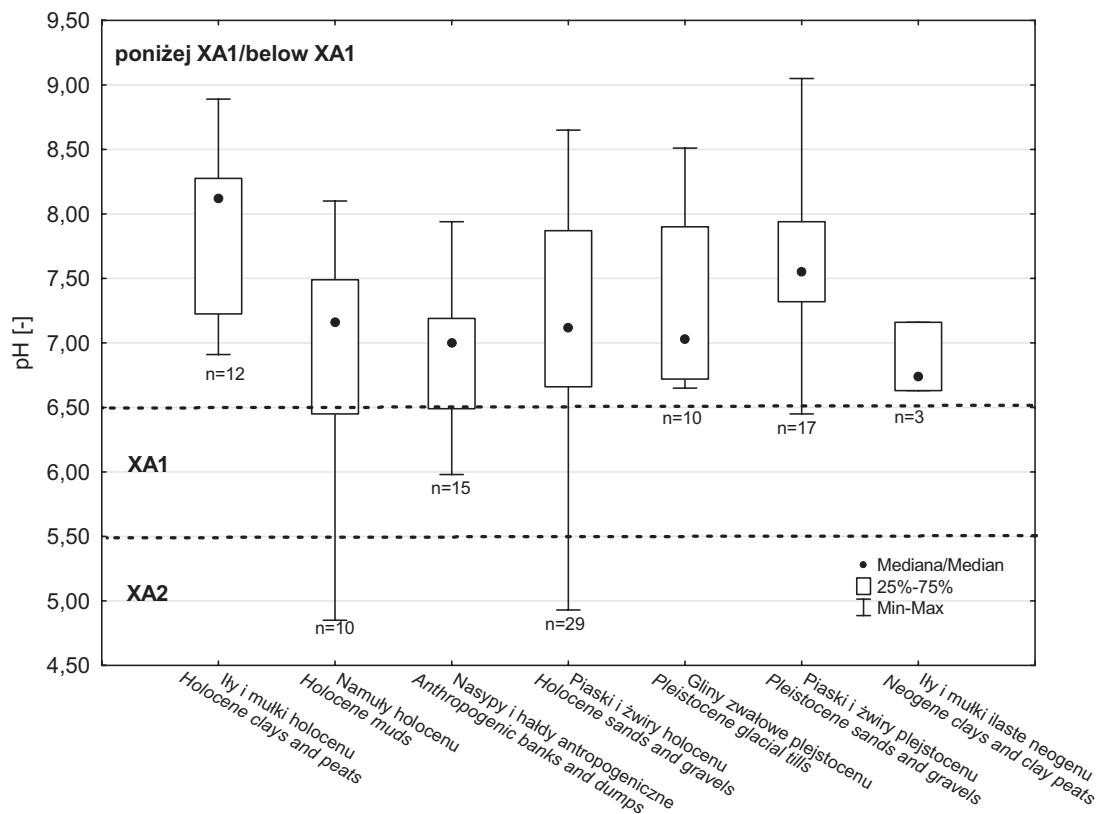
Płytkie wody podziemne aglomeracji wrocławskiej charakteryzuje znaczne zróżnicowanie parametrów chemicznych odpowiedzialnych za agresywność wód (tab. 3). Wartości średnie i mediany tych parametrów kształtowały się w zakresach typowych dla środowiska poniżej granicy lub w granicach słabej agresywności (XA1) (tab. 3). Odchylenia od tego trendu polegają na istnieniu wód charakteryzujących się obniżonym odczynem oraz podwyższonym stężeniem przede wszystkim jonów siarczanowych, amonowych oraz agresywnego dwutlenku węgla. Zróżnicowanie wartości pH oraz stężenia jonów magnezowych, amonowych, siarczanowych i agresywnego dwutlenku węgla w analizowanych wodach pochodzących z utworów zróżnicowanych wiekowo i litologicznie w odniesieniu do normy PN-EN 206+A1:2016-12 przedstawiono graficznie na rycinach 3–7. Niskie pH obserwowano w wodach osadów holocenu – przede wszystkim w namulach oraz piaskach i żwirach, a w mniejszym stopniu – w wodach pobranych pod nasypami antropogenicznymi (ryc. 3). Odczyn wszystkich wód podziemnych znajdujących się pod przykryciem utworów gliniastych, ilów i mułków holocen-skich oraz neogeńskich przekraczał pH 6,50 (ryc. 3). Wszystkie badane wody wykazywały małe stężenie jonów magnezowych (środowisko poniżej XA1). Nie zaobserwowano również znacznych różnic wynikających z budowy geologicznej. Nieznacznie podwyższone stężenia jonów magnezowych obserwowano jedynie w wodach pod glinami zwałowymi plejstocenu (ryc. 4). Stężenie jonów amonowych w badanych wodach było bardzo niskie (<0,01 mg/dm³), epizodycznie obserwowano jego podwyższone wartości w wodach pobranych z utworów holocenu (ryc. 5). Podwyższenie to (>15 mg/dm³) jedynie w przypadku dwóch próbek osiągnęło wartość typową dla środowiska o słabej agresywności (XA1). W obu przypadkach były to próbki wód pobranych w sąsiedztwie nieczynnych składowisk odpadów komunalnych. Pod względem zawartości jonów siarczanowych część badanych wód (występujących w utworach holocenu i plejstocenu) wykazywała przynależność do środowiska o słabej (XA1) lub umiarkowanej agresywności (XA2) (ryc. 6). Stężenie jonów siarczanowych w granicach 200–600 mg/dm³ (XA1) obserwowano w wodach 23 punktów badawczych (24% wszystkich badanych wód), natomiast stężenie powyżej 600 mg/dm³ (XA2) – w dwóch badanych punktach (2%). Podwyższone stężenie siarczanów w wodach obserwowano w większości (z jednym wyjątkiem) na obszarze terenów zielonych oraz terenów działalności rolniczej. Zjawisko to może mieć związek z rozkładem materii organicznej lub też stosowaniem na tych obszarach popularnych nawozów zawierających siarczany (np. siarczan potasu) (Witczak i in., 2013). Znacząca agresywność badanych wód zależała przede wszystkim od obecności w nich agresywnego dwutlenku węgla (ryc. 7). Spośród badanych wód

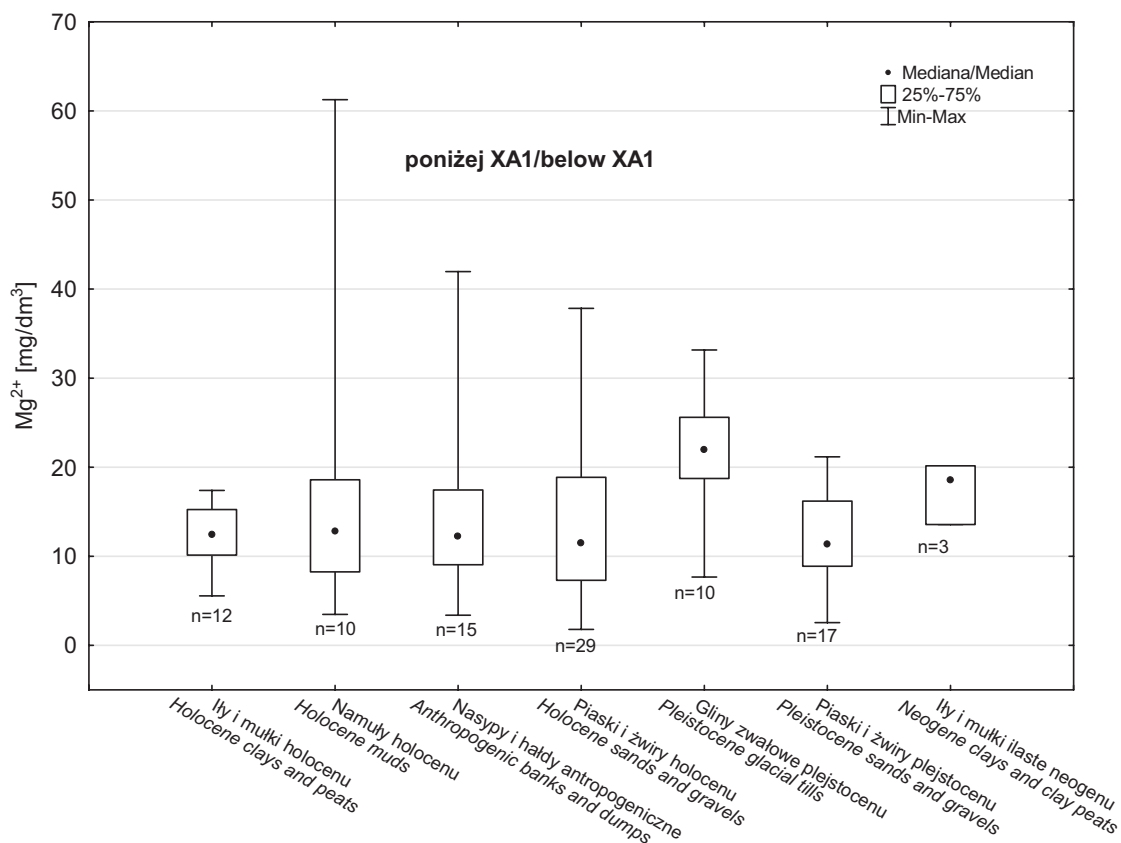
Tab. 3. Podstawowe parametry statystyczne wskaźników chemicznych odpowiedzialnych za agresywność w świetle normy PN-EN 206+A1:2016-12 płytkich wód podziemnych Wrocławia**Table 3.** Basic statistical parameters of chemical indicators responsible for aggressiveness in the light of PN-EN 206+A1:2016-12 of shallow groundwater in Wrocław

Parametr Parameter	Jednostka Unit	N N	Średnia Average	Mediana Median	Min Min	Max Max	25 percentyl 25 percentile	75 percentyl 75 percentile	Odchylenie standardowe Standard deviation
pH		96	7,30	7,24	4,85	9,05	6,75	7,89	0,78
Mg ²⁺	mg/dm ³	96	14,57	12,88	1,79	61,26	8,86	18,66	8,81
NH ₄ ⁺	mg/dm ³	96	0,75	0,01	0,01	25,81	0,01	0,01	3,40
SO ₄ ²⁻	mg/dm ³	96	164,14	110,46	0,01	926,83	63,01	212,66	158,76
CO ₂ agr.	mg/dm ³	96	24,26	8,80	0,01	129,80	0,01	41,80	31,66

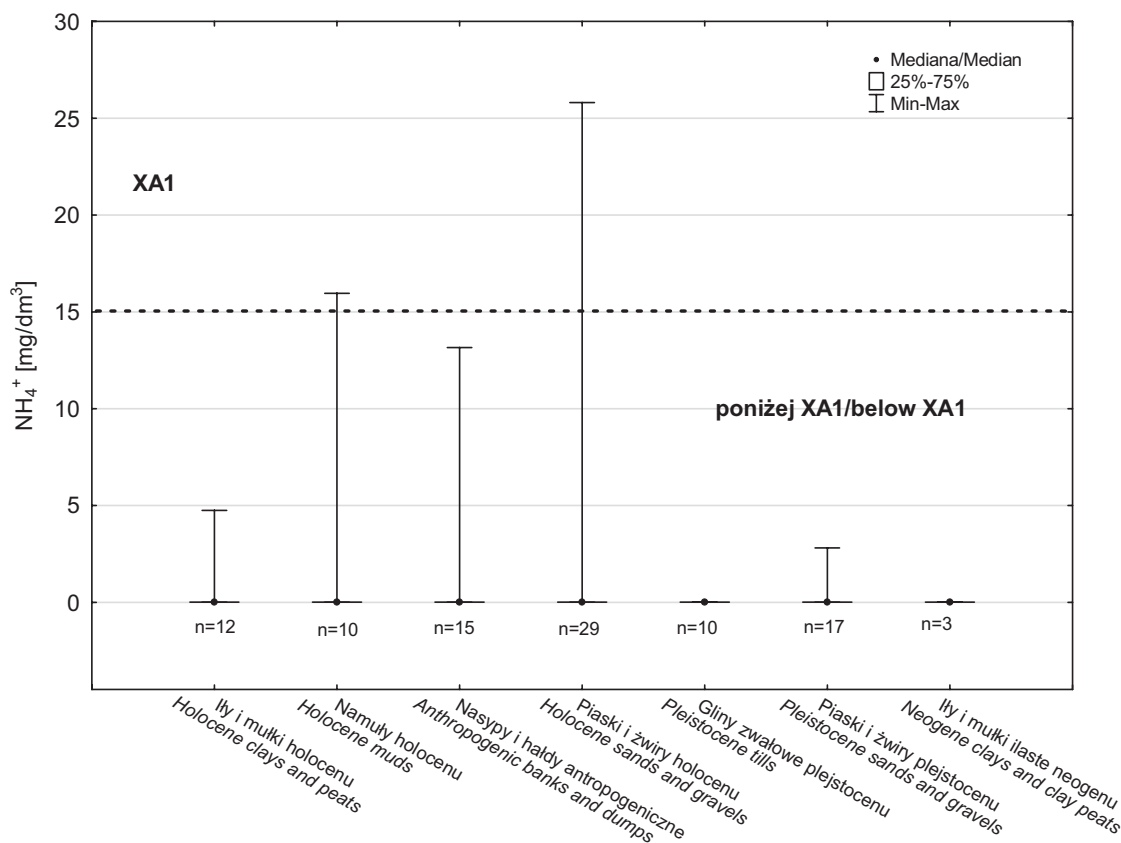
w 20 punktach (21% wszystkich próbek wód) stwierdzono ich niską agresywność (XA1) spowodowaną tym wskaźnikiem, w 21 punktach (22%) – agresywność umiarkowaną (XA2) i w trzech punktach (3%) – agresywność silną (XA3). Podobnie jak w przypadku jonów siarczanowych, obszary gdzie obserwowano agresywność wywołaną obecnością agresywnego dwutlenku węgla obejmowały tereny zielone i tereny działalności rolniczej. Dwa punkty o silnej agresywności są zlokalizowane w sąsiedztwie nieczynnego składowiska odpadów komunalnych Maślice (rozkład materii organicznej powodujący emisję CO₂ i spadek odczynu). Pod względem rodzaju i wieku utworów, w których były obecne tego typu wody, dominowały piaski i żwiry holocenu, w tym te znajdujące się pod namułami. Środowisko XA1, wywołane obecnością agresywnego dwutlenku węgla, zaobserwowano również w wodach piasków i żwirów plejstocenu. Należy podkreślić, że w osadach wodonośnych znajdujących się pod ilami i mułkami neogenu (jedynie 3 punkty badawcze) nie zaobserwowano agresywności chemicznej w przypadku żadnego badanego wskaźnika (ryc. 3–7).

Wartości poszczególnych wskaźników chemicznych stopnia agresywności płytkich wód podziemnych, obserwowane na obszarze Wrocławia, są w większości zbieżne z rezultatami uzyskanymi dla aglomeracji warszawskiej przez Patakiewicza (2016). W obu badaniach czynnikiem o największym znaczeniu dla korozyjności była obecność agresywnego dwutlenku węgla (agresywność węglanowa), a czynnikami niemającymi znaczenia klasyfikacyjnego – stężenie jonów magnezowego i amonowego. W przeciwieństwie do obszaru Warszawy, niniejsze badania wykazały niewielkie znaczenie odczynu oraz znaczne stężenie jonów siarczanowych w płytkich wodach podziemnych Wrocławia. Podobnie badania wód podziemnych struktury Horna Nitra na Słowacji (obszaru intensywnej działalności przemysłowej, górniczej i dużego zasiedlenia) wykazały, że największe znaczenie w kształtowaniu agresywności płytkich wód podziemnych mają stężenie jonów siarczanowych i obecność agresywnego dwutlenku węgla, a jony magnezowe oraz amonowe nie mają znaczenia klasyfikacyjnego (Fendekova i in., 2011). Wysokie stężenie agresywnego CO₂ wykazała również Porowska (2015) w wo-

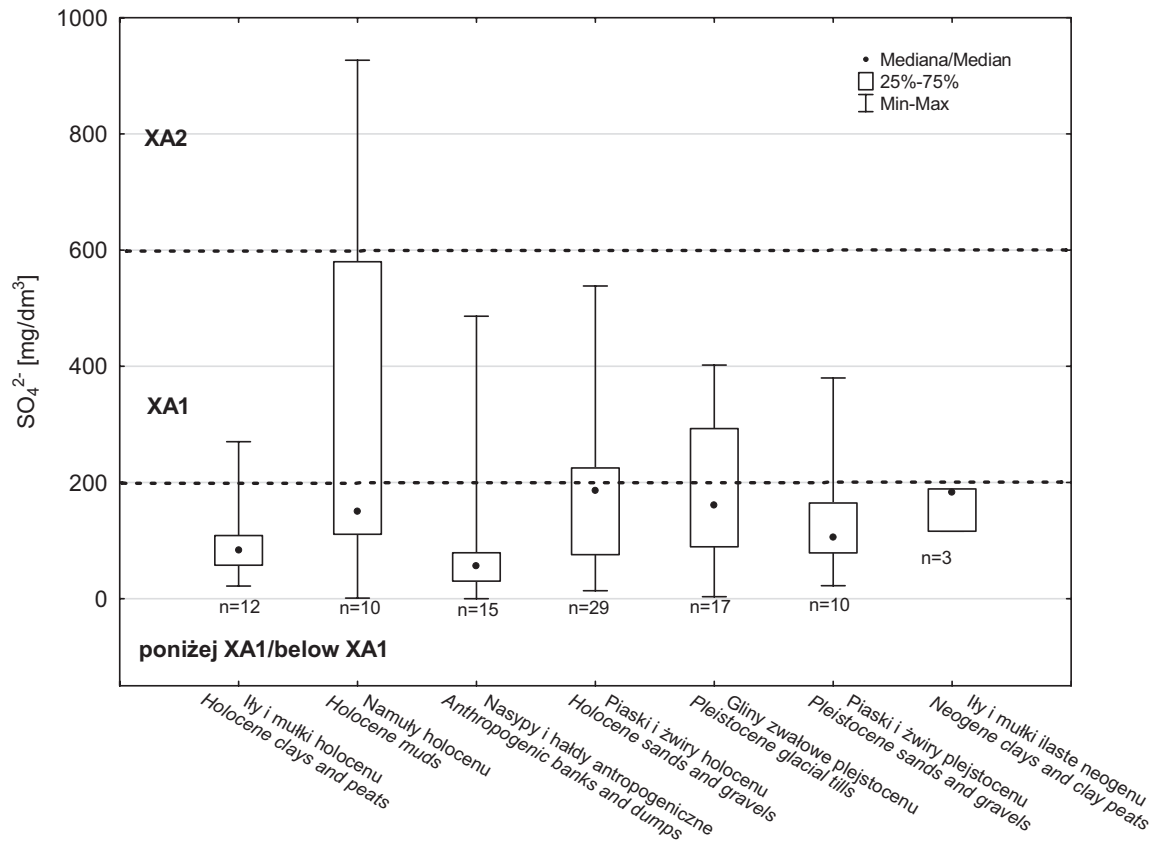
**Ryc. 3.** pH płytkich wód podziemnych
Fig. 3. The pH of shallow groundwater



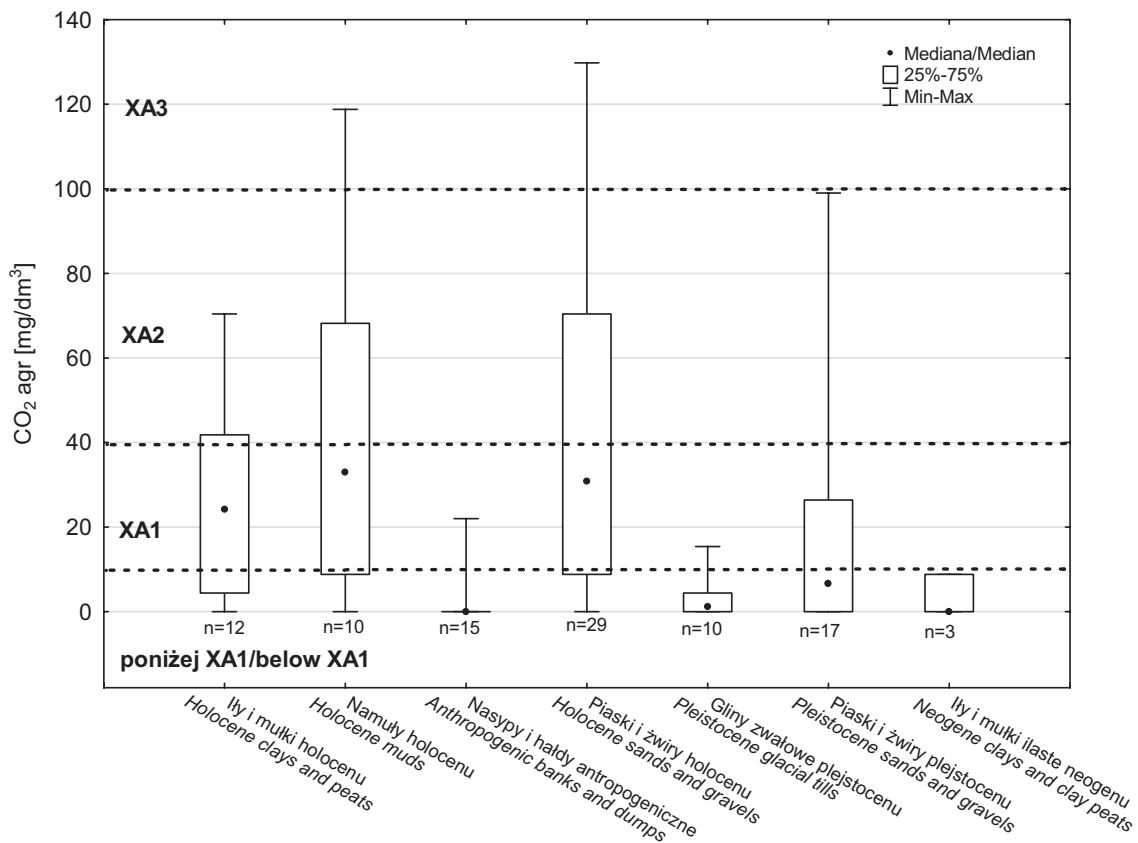
Ryc. 4. Stężenie jonów magnezowych w płytkich wodach podziemnych
 Fig. 4. Concentration of magnesium ions in the shallow groundwater



Ryc. 5. Stężenie jonów amonowych w płytkich wodach podziemnych
 Fig. 5. Concentration of ammonium ions in the shallow groundwater



Ryc. 6. Stężenie jonów siarczanowych w płytkich wodach podziemnych
 Fig. 6. Concentration of sulphate ions in the shallow groundwater



Ryc. 7. Stężenie agresywnego dwutlenku węgla w płytkich wodach podziemnych
 Fig. 7. Concentration of aggressive carbon dioxide in the shallow groundwater

dach podziemnych Otwocka, w tym przypadku stwierdzono jednak istnienie procesu hydrogeochemicznego, który eliminował z wody agresywny CO₂ w bezpośrednim sąsiedztwie zrehabilitowanego składowiska odpadów.

Klasyfikując płytkie wody podziemne z uwzględnieniem wszystkich rozpatrywanych wskaźników chemicznych, stwierdzono, że ponad 58% z nich wykazywało agresywność chemiczną (XA1, XA2, XA3). Nieco poniżej połowy z populacji wód agresywnych (26% wszystkich badanych wód) wykazywało agresywność umiarkowaną (XA2) i silną (XA3) (tab. 4). Można uznać, że jest to wartość znaczna, szczególnie w porównaniu z innymi, opisywanymi w literaturze obszarami (Fendekova i in., 2011; Patakiewicz, 2016). Przykładowo dla aglomeracji warszawskiej udział wód niewykazujących agresywności chemicznej był o 10% mniejszy, a wody wykazujące agresywność umiarkowaną stanowiły zaledwie 13% płytkich wód podziemnych. W Warszawie nie wykazano również wód o silnej agresywności chemicznej (Patakiewicz, 2016).

Analiza rozkładu przestrzennego stopnia agresywności chemicznej płytkich wód podziemnych we Wrocławiu wykazała, że ma ona charakter mozaikowy i jest powiązana z typem utworów przypowierzchniowych (ryc. 2). Wody niewykazujące agresywności chemicznej stwierdzono głównie w zachodnich, centralnych i południowych rejonach miasta, gdzie dominują utwory plejstocenu i neogenu, a w centrum – także rzeczne osady wieku holocenijskiego i nasypy antropogeniczne. Wody wykazujące agresywność (związane z osadami rzecznyymi Odry i jej dopływów) dominowały z kolei we wschodnich i północnych rejonach miasta. Wykazano też niewielką istotną statystycznie zależność korelacyjną między głębokością zalegania zwierciadła wody a stężeniem agresywnego CO₂ ($r = -0,37$). Może to wskazywać na spadek agresywności płytkich wód podziemnych wraz z głębokością.

Wartości wskaźników odpowiadających za agresywność (jon siarczanowy, agresywny dwutlenek węgla) są również wyraźnie zależne od zagospodarowania terenu (obszary użytkowania zieleni, obszary rolnicze, zlikwidowane składowiska) wpływającego na stopień agresywności chemicznej płytkich wód podziemnych i odpowiadającego w dużym stopniu za mozaikowy obraz tej właściwości wód we Wrocławiu.

WNIOSKI

Na obszarze Wrocławia dominują płytkie wody podziemne (gruntowe) wykazujące agresywność chemiczną (korozyjność) wobec betonu i stali zgodnie z normą PN-EN 206+A1:2016-12. Czynnikiem o istotnym znaczeniu klasyfikacyjnym agresywności chemicznej wód podziemnych jest obecność w wodach podwyższonego stężenia agresywnego dwutlenku węgla, jonu siarczanowego oraz w mniejszym stopniu odczyn. Obecność jonów magnezowych oraz amonowych w próbkach wód nie ma znaczenia

Tab. 4. Klasyfikacja agresywności płytkich wód podziemnych Wrocławia w odniesieniu do normy PN-EN 206+A1:2016-12

Table 4. Aggressiveness classification of shallow groundwater in Wrocław in relation to the PN-EN 206+A1:2016-12 standard

Środowisko chemiczne <i>Chemical environment</i>	Liczba punktów <i>Number of points</i>	Procent przypadków [%] <i>Percent of cases</i>
poniżej XA1	40	41,66
XA1	31	32,29
XA2	22	22,92
XA3	3	3,13

klasyfikacyjnego, ponieważ ich stężenie kształtuje się zawsze (jon magnezowy) lub prawie zawsze (jon amonowy) poniżej progów klasyfikacyjnych najniższego stopnia agresywności chemicznej (XA1). Występowanie wód agresywnych powiązane ze środowiskiem osadów pochodzenia rzeczno-głównie wieku holocenijskiego, podrzędnie plejstocenijskiego. Wyraźnie niższą agresywność wykazują wody podziemne izolowane utworami gliniastymi, ilastymi głównie wieku plejstocenijskiego oraz nasypami antropogenicznymi. Nie stwierdzono agresywności wód w utworach wodonośnych pod osadami ilastymi neogenu. Agresywność wód podziemnych Wrocławia przestrzennie wykazuje mozaikowość wynikającą z budowy geologicznej utworów przypowierzchniowych miasta oraz prawdopodobnie jest również związana z formą zagospodarowania terenu. Największą agresywność wykazują wody związane z obszarami użytkowania zieleni, rolniczymi oraz w pobliżu zlikwidowanych składowisk odpadów komunalnych.

Autorzy dziękują dr. hab. Sebastianowi Buczyńskiemu za pomoc w pracach terenowych oraz Recenzentom za cenne uwagi, które wzbogaciły treść artykułu. Badania sfinansowano w ramach subwencji badawczej dla Uniwersytetu Wrocławskiego (kd. 76).

LITERATURA

- CHMAL H., TRACZYK A. 2001 – Uwagi o geomorfologii wrocławskiego Rynku, 1. [W:] Rynek Wrocławski w świetle badań archeologicznych, 1. Wratislavia Antiqua, Studia z dziejów Wrocławia, 3: 7–14.
- CHRUSZCZ-LIPSKA K., WINID B., SOLECKI M.N., MACUDA J., LUKAŃKO Ł., MARUTA M. 2019 – Agresywność korozyjna wód podziemnych w województwie małopolskim, Przem. Chem., 95 (5): 780–783.
- FENDEKOVA M., MALIK F., KRČMAR D., FENDEK M., ROHACIKOVA A. 2011 – Groundwater aggressiveness assessment according to EN 206-1: data, methods and application on groundwater in the Horna Nitra basin, Slovakia. Environ. Earth Sci., 64: 461–470.
- GIZLER H. 1982 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz 726 – Oborniki Śląskie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GONTASZEWSKA A. 2010 – Właściwości termofizyczne gruntów w aspekcie przemiarowania, Ofic. Wydaw. Uniw. Zielonogórsk., Zielona Góra.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W. 1999 – Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Wydaw. Arkady: 558.
- ŁABNO A. 1986 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz 763 – Leśnica. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PATAKIEWICZ M.A. 2016 – Agresywność wód gruntowych w świetle wymagań normy PN-EN 206-1. Odniesienia do obszarów zurbanizowanych na przykładzie aglomeracji warszawskiej. Acta Sci. Pol. Architect., 15 (4): 103–112.
- POLSKA NORMA PN-EN 206+A1:2016-12 – Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- POROWSKA D. 2015 – Ocena agresywności wód podziemnych w rejonie zrehabilitowanego składowiska odpadów komunalnych w Otwocku, Prz. Geol., 63 (10/2): 1011–1014.
- PROGRAM COPERNICUS, URBAN ATLAS 2018 – <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas> (dostęp 7 maja 2021 r.).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Dz.U. z 2012 r., poz. 463.
- SROCZYŃSKA A. (red.) 2018 – Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Wrocławia, Biuro Rozwoju Wrocławia, Wrocław.
- WINNICKA G. 1985 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz 764 – Wrocław. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WINNICKI J. 1985 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz 727 – Trzebnica. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WITCZAK S., KANIA J., KMICIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 717.
- WORSZA-KOZAK M., KOTOWSKI A. 2009 – Przykład wykorzystania danych z monitoringu wód podziemnych do oceny wpływu elektrowni wodnych na środowisko. Biul. Państw. Inst. Geol., 436: 555–562.
- WORSZA-KOZAK M., KOTOWSKI A., WARTALSKI A. 2008 – Monitoring stanów wód podziemnych w rejonie Śródmiejskiego Węzła Wodnego we Wrocławiu. Prz. Geol., 56: (4): 302–308.
- ŽUK U., 2000 – Objasnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000, arkusz 764 – Wrocław. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 38–39.

Praca wpłynęła do redakcji 14.05.2021 r.
Aceptowano do druku 14.07.2021 r.