

## Chemizm wód neogeńskiego piętra wodonośnego w rejonie Wrocławia

Agata Korwin-Piotrowska<sup>1</sup>



**The chemistry of the Neogene multi-aquifer formation in the Wrocław region.** *Prz. Geol.*, 66: 28–37.

*A b s t r a c t.* The article presents the chemistry of the Neogene multi-aquifer formation in the Wrocław region. The principal scope of this study was to present the quality of Neogene groundwater samples collected at the same time from 23 boreholes. Chemical analyses were made at the Central Chemical Laboratory of the Polish Geological Institute – National Research Institute in Warsaw. The Neogene aquifer occurs at significant depths (approximately 80 m b.s.l.), which has a great impact on the groundwater quality. The mineralization of the Neogene multi-aquifer formation was measured and shown as the electrical conductivity (EC). The pH varies from poorly alkaline to alkaline. The research results show the major ions and the hydrochemical type of the groundwater, and they can be a valuable source of information for such domains of human activity as geology, and town and

municipal planning.

**Keywords:** groundwater quality, Neogene multi-aquifer, Wrocław city

Zaopatrzenie Wrocławia w wodę przeznaczoną do spożycia opiera się w blisko 99% na zasobach wód powierzchniowych z rzek Oława i Nysa Kłodzka. Takie rozwiązanie posiada wiele wad i dużą zawodność, o czym przekonali się mieszkańcy Wrocławia podczas powodzi w 1997 r. (Goldsztejn, 2009), kiedy to zostali całkowicie pozbawieni wody pitnej.

Jednym z zastosowanych rozwiązań w tamtym czasie było sięgnięcie do wód głębszych, pochodzących z neogeńskiego piętra wodonośnego. Biorąc to pod uwagę oraz fakt, że większość dużych miast zaopatruje się w wody podziemne w ilości 40–60%, wzrosło zainteresowanie nimi również we Wrocławiu.

Z wód piętra neogeńskiego zaczęto korzystać we Wrocławiu już w 1910 r. Jednakże, największe zainteresowanie wody podziemne wzbudziły w latach 1960–1990 ubiegłego stulecia. Intensywna eksploatacja (ok. 17–20 tys. m<sup>3</sup>/d) tych wód głównie przez wojsko, szpitale, zakłady browarnicze i inne zakłady przemysłowe doprowadziła do wytworzenia leja depresji, a w niektórych przypadkach do pogorszenia stanu jakości tych wód (Korwin-Piotrowska, Krawczyk, 2013). Obecnie, po zmianach gospodarczych, pozostało tylko kilku użytkowników korzystających z wód neogeńskiego piętra wodonośnego na terenie Wrocławia (Korwin-Piotrowska, 2016).

Celem pracy jest oszacowanie realnych możliwości dalszego poboru wód z piętra neogeńskiego w granicach Wrocławia na podstawie rozpoznania ich aktualnego stanu chemicznego.

### WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE OBSZARU BADAŃ

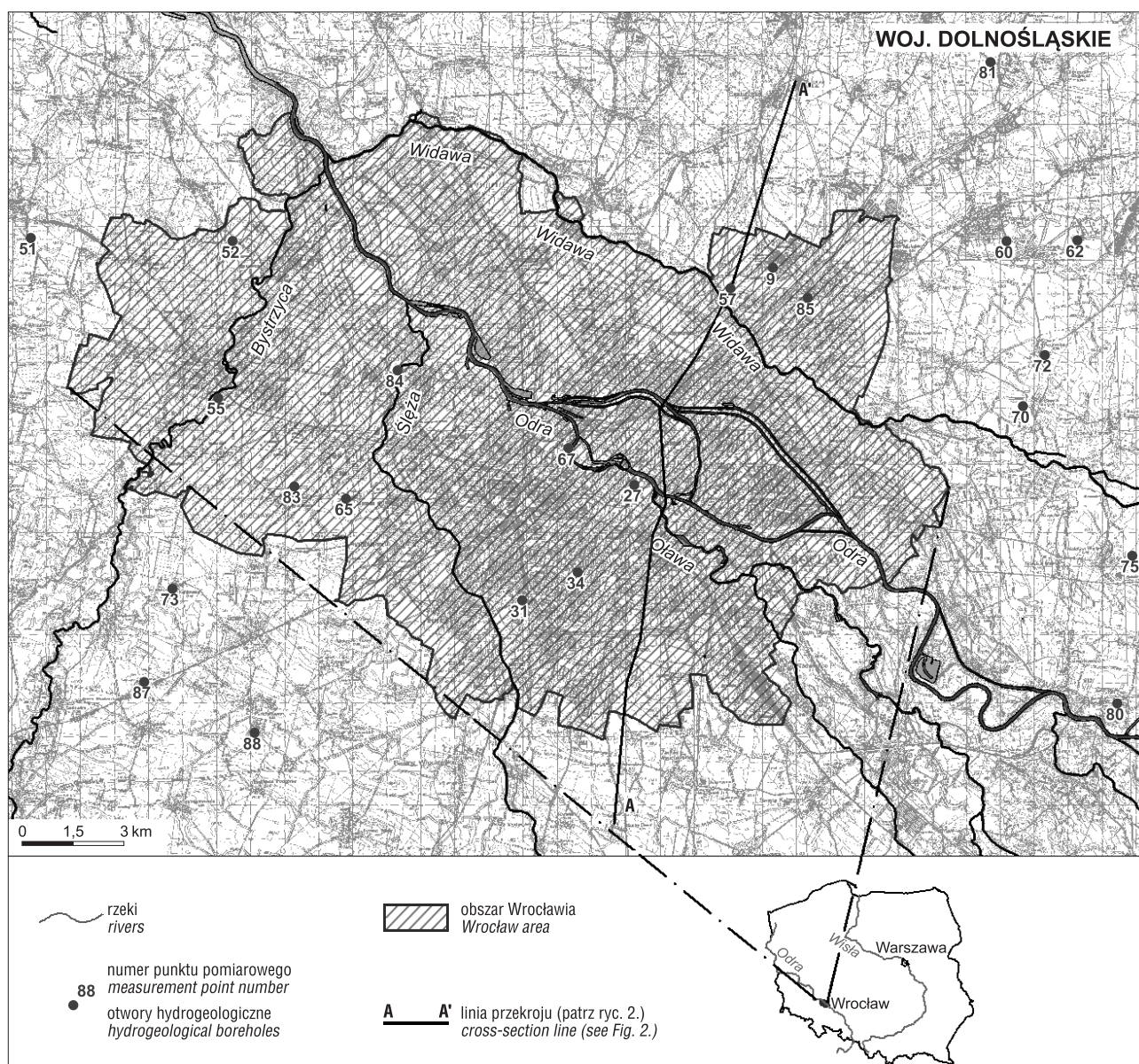
Obszar badań o powierzchni 293 km<sup>2</sup> obejmuje całe miasto, jednakże, w celu precyzyjnego określenia warunków hydrogeologicznych, badania prowadzono również poza granicami Wrocławia (ryc. 1). Na obszarze miasta i w jego najbliższych okolicach zostały wydzielone cztery piętra wodonośne: czwartorzędowe, neogeńskie, triasowe i perm-

skie (Michniewicz i in., 1991; Nowicki, 2007; Staško i in., 2007). Charakter użytkowy posiadają jedynie piętra czwartorzędowe i neogeńskie.

Występowanie czwartorzędowego piętra wodonośnego jest związane z piaszczystymi osadami wodnolodowcowymi i rzecznyymi (Kielczawa i in., 2005). Osady rzeczne (piaszczysto-żwirowe) tworzą ciągły horyzont wodonośny i stanowią dostępny oraz najczęściej wykorzystywany zbiornik wód podziemnych w całej dolinie Odry (Worsak-Kozak, 2006). Zwierciadło wody jest na ogół swobodne (północna, centralna i wschodnia część miasta), lokalnie napięte. Piaszki wodnolodowcowe o niewielkiej miąższości, nieregularnie porozdzielane glinami zwałowymi, nie tworzą ciągłego poziomu wodonośnego (Mroczkowska, Michniewicz, 1974). W południowo-zachodnich i zachodnich rejonach miasta stwierdzono brak utworów czwartorzędu lub ich niewielkie miąższości – od ok. 1 do kilku metrów (lokalnie 8 m), co powoduje brak w nich użytkowego poziomu wodonośnego na wymienionych powyżej obszarach (Korwin-Piotrowska, 2016).

Neogeńskie piętro wodonośne jest wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych, przechodzących w piaski średnioziarniste, piasków pylastych, rzadziej żwirów. Osady te tworzą soczewy lub warstwy wyklinowujące lub zaciebiające się w obrębie dominujących osadów ilastych (Kielczawa i in., 2005). Wyróżniono w nim dwa poziomy – górny i dolny. Za ich rozdzieleniem świadczy fakt, że oba poziomy charakteryzują się różnym reżimem naporowym i nieco innym składem chemicznym wód (Krawczyk i in., 1996). Autorka na podstawie badań własnych stwierdziła, że w utworach neogenu występują więcej niż dwa poziomy wodonośne, które są rozczłonkowane i tworzą wielowarstwowy system wodonośny o miąższościach od kilku do kilkunastu metrów (lokalnie do 30 m), zalegające średnio ok. 80 m p.p.t. (Korwin-Piotrowska, 2016) (ryc. 2). Rozbieżności litologii i miąższości warstw wodonośnych towarzyszy duża zmienność parametrów hydrogeologicznych. Wydajności eksploatacyjne studni na opisywanym terenie są bardzo zróżnicowane i wahają się od 1,2 do 118 m<sup>3</sup>/h, na

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław; agata.korwin-piotrowska@pgi.gov.pl.



**Ryc. 1.** Lokalizacja obszaru badań  
**Fig. 1.** Location of the study area

ogół nie przekraczają jednak  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Współczynnik filtracji w neogeńskich warstwach wodonośnych wynosi najczęściej poniżej  $10 \text{ m/d}$ , średnio  $8,1 \text{ m/d}$  ( $9,34 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ ), a wodoprzewodność zmienia się w przedziale od  $1,6$  do  $705,5 \text{ m}^2/\text{d}$ , przeważnie mieści się w granicach  $10\text{--}100 \text{ m}^2/\text{d}$ . W niektórych otworach rozproszonych na obszarze całego miasta, w stropowej części neogenu (miocen górny), stwierdzono wystąpienia cienkich soczewek węgla brunatnego (Oberc, 1972; Buksiński i in., 1974; Winnicka, 1988; Kłapciński, 1993).

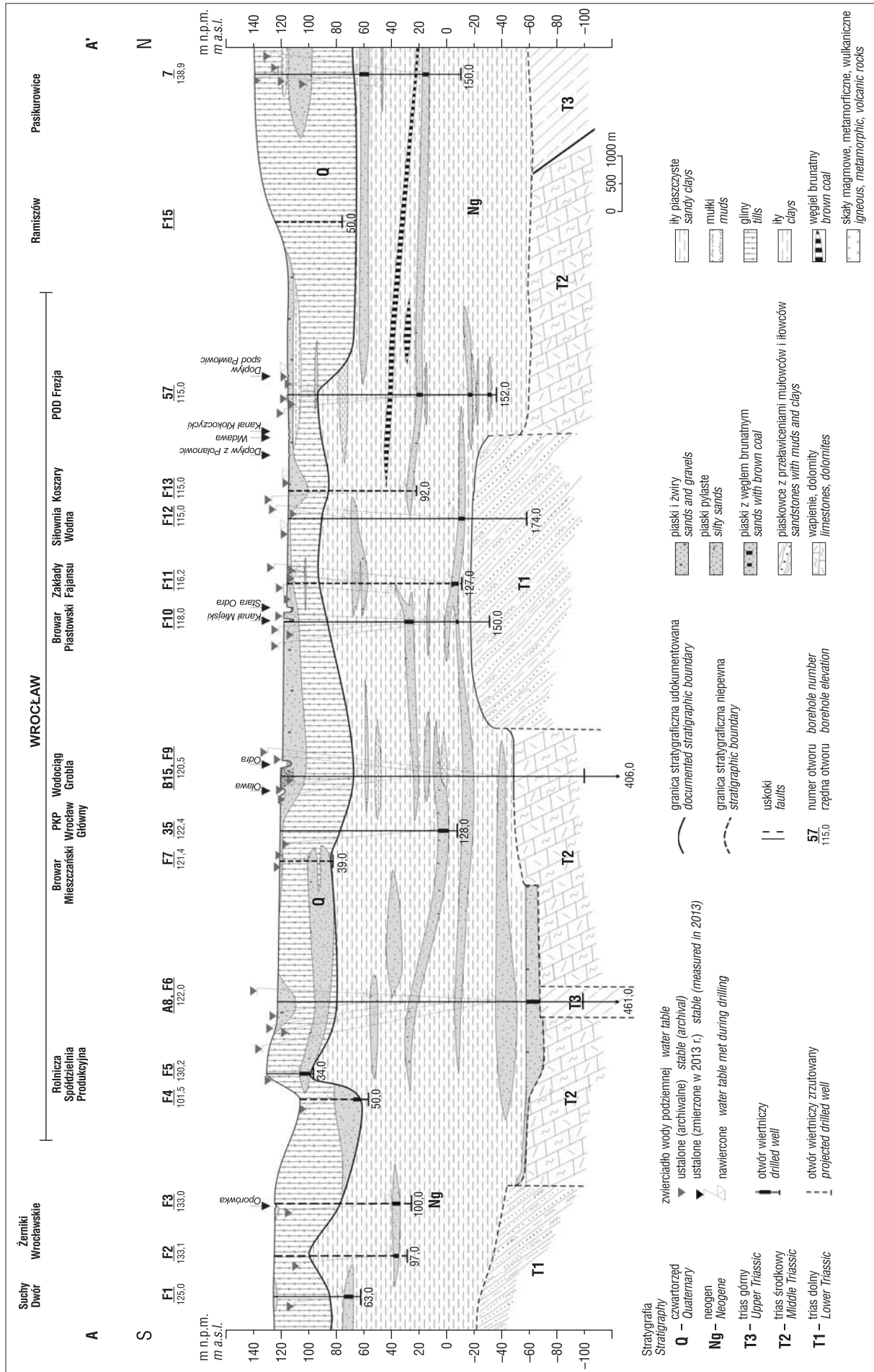
### METODYKA BADAŃ

Podczas prac terenowych w 2009 r. dokonano pomiarów lokalizacji 93 otworów obserwacyjnych za pomocą GPS SCx 60 firmy GARMIN. Sprawdzone ich stan techniczny pod kątem możliwości poboru próbek wody oraz wykonywania cyklicznych pomiarów zwierciadła wody.

We wrześniu 2013 r. pobrano próbki do oznaczenia podstawowego (głównego) składu jonowego wody z pozio-

mów neogeńskich w wytypowanych 23 otworach na podstawie lokalizacji, stanu technicznego i prawnego otworu oraz ujętej warstwy wodonośnej. Wodę poddano standardowym procedurom laboratoryjnym, celem porównania ich wyników z pomiarami cyklicznymi prowadzonymi bezpośrednio w terenie oraz wykonania jednorazowego zdjęcia hydrogeochemicznego. Opróbowania dokonywano w czynnych otworach, w których zachodziła ciągła wymiana słupa wody, jak również w otworach nieczynnych (nr 9, 31, 34, 27 – numery zgodne z ryc. 1). Przed pobraniem próbek wody wykonano wielogodzinne pompowania oczyszczające w czterech otworach (nr 9, 31, 34, 27), a czas potrzebny do trzykrotnej wymiany słupa wody został obliczony na podstawie średnicy otworu oraz wysokości słupa wody.

Analizy chemiczne były przeprowadzane w Pracowni Chromatografii Centralnego Laboratorium Chemicznego Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego metodą chromatografii jonowej, zgodnie z procedurą PB - 04.



Ryc. 2. Przekrój hydrogeologiczny przez obszar badań z zaznaczoną linią przekroju na rycinie 1 (Korwin-Piotrowska, 2016)  
Fig. 2. Hydrogeological cross-section through the study area with marked the cross-section line marked in Figure 1 (Korwin-Piotrowska, 2016)

Poprawność analiz chemicznych wód podziemnych sprawdzono na podstawie bilansu jonowego, obliczając względny błąd analizy. Metodą tą przeliczono stężenia danego jonu oznaczonego analitycznie [mg/dm<sup>3</sup>] na miliogramorównoważniki [mval/dm<sup>3</sup>]:

$$rX^+ = (c/M) \times w$$

gdzie:

$rX^+$  – zawartość równoważników jonu [mval/dm<sup>3</sup>],

$c$  – stężenie analityczne [mg/dm<sup>3</sup>],

$M$  – masa molowa jonu,

$w$  – wartościowość.

Błąd analizy  $x$  odnosi się do sumy anionów i kationów z założeniem, że suma ładunków dodatnich rozpuszczonych w roztworze winna być równa sumie ładunków ujemnych  $\Sigma K = \Sigma A$ .

$$x = \Sigma K - \Sigma A \Sigma K + \Sigma A \cdot 100\%$$

gdzie:

$x$  – dopuszczalny względny błąd analizy,

$\Sigma K$  – sumaryczne stężenie równoważnikowe kationów,

$\Sigma A$  – sumaryczne stężenie równoważnikowe anionów.

Błędy względne analiz wykonanych w ramach opróbowania wód piętra neogeńskiego na terenie Wrocławia oscylują na dopuszczalnym poziomie. Można stwierdzić, że analizy przeprowadzono z należytą starannością i mogą one posłużyć do próby określenia przemian fizykoche-

micznych, jakie zachodzą w badanych warstwach wodonosnych (Korwin-Piotrowska, 2016) (tab. 1, 2).

Jak wynika z tabeli 1 oraz 2 jedynie w otworze 31 dopuszczalna wielkość błędu analizy została znacznie przekroczona. Sytuacja ta była spowodowana gwałtownym dopływem wód z piętra czwartorzędowego do neogeńskiego. Napływ wód nastąpił w sposób niekontrolowany podczas pompowania oczyszczającego przez nieszczelną kolumnę nadfiltrową (Korwin-Piotrowska, 2016).

Ze względów finansowych nie przeprowadzono powtórzonego opróbowania wód piętra neogeńskiego w akredytowanym laboratorium. Jednakże wykonano pobór kolejnych próbek wody w siedmiu czynnych otworach hydrogeologicznych, w których uzyskano zgodę na regularne wykonywanie badań i analizę wybranych składników w terenie. Od listopada 2012 r. do października 2014 r., w każdym miesiącu, były pobierane próbki wody w celu oznaczenia stężeń żelaza (Fe<sup>2+</sup>), azotanów (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), siarczanów (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), manganu (Mn<sup>2+</sup>) i chlorków (Cl<sup>-</sup>). Powyżej wymienione jony wód podziemnych zostały wytypowane do pomiarów ze względu na podwyższone ich zawartości, jakie odnotowano w pracach archiwalnych (Korwin-Piotrowska, 2016). Opróbowanie było wykonywane przy użyciu fotometru mikroprocesorowego do analizy wód i ścieków LF300 firmy Slandi. Uzyskane wyniki potwierdziły podwyższone zawartości poszczególnych stężeń jonów.

Dodatkowo autorka w okresie 2011–2014 z tą samą częstotliwością (co miesiąc) wykonywała w terenie pomiary podstawowych wskaźników fizykochemicznych wody,

**Tab. 1.** Obliczenie błędu analizy chemicznej na podstawie bilansu jonowego (Korwin-Piotrowska, 2016)

**Table 1.** Calculation of chemical analysis error based on ion balance (Korwin-Piotrowska, 2016)

Numer otworu Borehole number	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣA	ΣK	ΣA + ΣK	x
	[mg/dm <sup>3</sup> ]							[mval/dm <sup>3</sup> ]							[%]			
9	87,5	23,7	78,5	434,3	80	45,5	0,4	4,4	2	3,4	7,1	1,7	1,3	0		10,1	9,7	19,8
27	4,1	6,5	149,5	67	0,5	228	0,2	0,2	0,5	6,5	1,1	0	6,4	0	7,5	7,2	14,8	-2
<b>31</b>	<b>322</b>	<b>149,3</b>	<b>55,1</b>	<b>741,8</b>	<b>500</b>	<b>51,9</b>	<b>3,3</b>	<b>16,1</b>	<b>12,3</b>	<b>2,4</b>	<b>12,2</b>	<b>10,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>24,1</b>	<b>30,7</b>	<b>54,8</b>	<b>12</b>
34	4,7	5,1	191,9	0	0,5	326	0,2	0,2	0,4	8,3	0	0	9,2	0	9,2	9	18,2	-1,1
51	78,2	26,4	10	379,4	16	9,1	0,3	3,9	2,2	0,4	6,2	0,3	0,3	0	6,8	6,5	13,3	-2,3
52	224,4	52	189	381,9	500	279	1,6	11,2	4,3	8,2	6,3	10,4	7,9	0	24,6	23,7	48,3	-1,9
55	89,2	22,9	10,6	378,2	20,1	16,5	0,3	4,4	1,9	0,5	6,2	0,4	0,5	0	7,1	6,8	13,9	-2,2
57	187,9	38,8	154	341,6	448	181	1,4	9,4	3,2	6,7	5,6	9,3	5,1	0	20,1	19,3	39,3	-2
60	159,7	37,5	170	411,1	389	149	1,3	8	3,1	7,4	6,7	8,1	4,2	0	19,1	18,5	37,5	-1,6
62	112,5	29,4	100,3	419,7	181	74,1	0,6	5,6	2,4	4,4	6,9	3,8	2,1	0	12,8	12,4	25,2	-1,6
65	87,8	19,6	78	311,1	128	71	0,4	4,4	1,6	3,4	5,1	2,7	2	0	9,8	9,4	19,2	-2,1
67	84,6	13,1	22,5	201,3	91,7	47,7	2,1	4,2	1,1	1	3,3	1,9	1,3	0	6,6	6,3	12,9	-2,3
70	94,7	21,4	55	279,4	158	46,1	0,5	4,7	1,8	2,4	4,6	3,3	1,3	0	9,2	8,9	18,1	-1,7
72	99,8	23,2	77,9	336,7	167	55,1	0,5	5	1,9	3,4	5,5	3,5	1,6	0	10,6	10,3	20,8	-1,4
73	59,2	19,5	38,3	317,2	32,3	22	0,3	3	1,6	1,7	5,2	0,7	0,6	0	6,5	6,2	12,7	-2,4
75	115,1	24,1	62,4	394,1	135	53,7	0,7	5,7	2	2,7	6,5	2,8	1,5	0	10,8	10,4	21,2	-1,9
80	102,4	39,3	140	178,1	368	151	1,2	5,1	3,2	6,1	2,9	7,7	4,3	0	14,9	14,4	29,3	-1,7
81	85,6	16,4	8,1	337,9	16,1	13,5	0,3	4,3	1,3	0,4	5,5	0,3	0,4	0	6,3	6	12,2	-2,4
83	72,3	18	31,1	330,6	36	25,8	0,3	3,6	1,5	1,4	5,4	0,8	0,7	0	6,9	6,4	13,3	-3,8
84	295,2	64,8	227,2	396,5	500	421	2,3	14,7	5,3	9,9	6,5	10,4	11,9	0	28,8	29,9	58,8	1,9
85	171,4	36,6	119,8	367,2	355	141	1,2	8,6	3	5,2	6	7,4	4	0	17,4	16,8	34,2	-1,8
87	76,4	22,2	11,2	361,1	12,1	8,5	0,3	3,8	1,8	0,5	5,9	0,3	0,2	0	6,4	6,1	12,5	-2,4
88	55,5	16,6	31,9	292,8	25,5	16,9	0,3	2,8	1,4	1,4	4,8	0,5	0,5	0	5,8	5,5	11,3	-2,7

31 – błąd w analizie zaznaczono pogrubioną czcionką

31 – analytical error marked in bold

**Tab. 2.** Dopuszczalna względna wielkość błędu analizy wody wg PN-C-04638-2:1989**Table 2.** Permissible relative error of water analysis according to PN-C-04638-2:1989

Sumaryczne stężenie jonów w wodzie <i>Total ion concentration in water (Ionic contribution)</i> [mval/dm <sup>3</sup> ]	Dopuszczalny błąd względny <i>Permissible relative error</i>
>15	2
5–15	2–5
3–5	5–10
<3	nie ustalono / <i>not determined</i>

tj. temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW) oraz pH, za pomocą pH-metru i konduktometru firmy Slandi.

Wody te nie zostały zbadane pod kątem metali ciężkich ani związków organicznych, ponieważ analizując dane archiwalne, nie zaobserwowano przekroczeń stężeń.

### WYNIKI BADAŃ

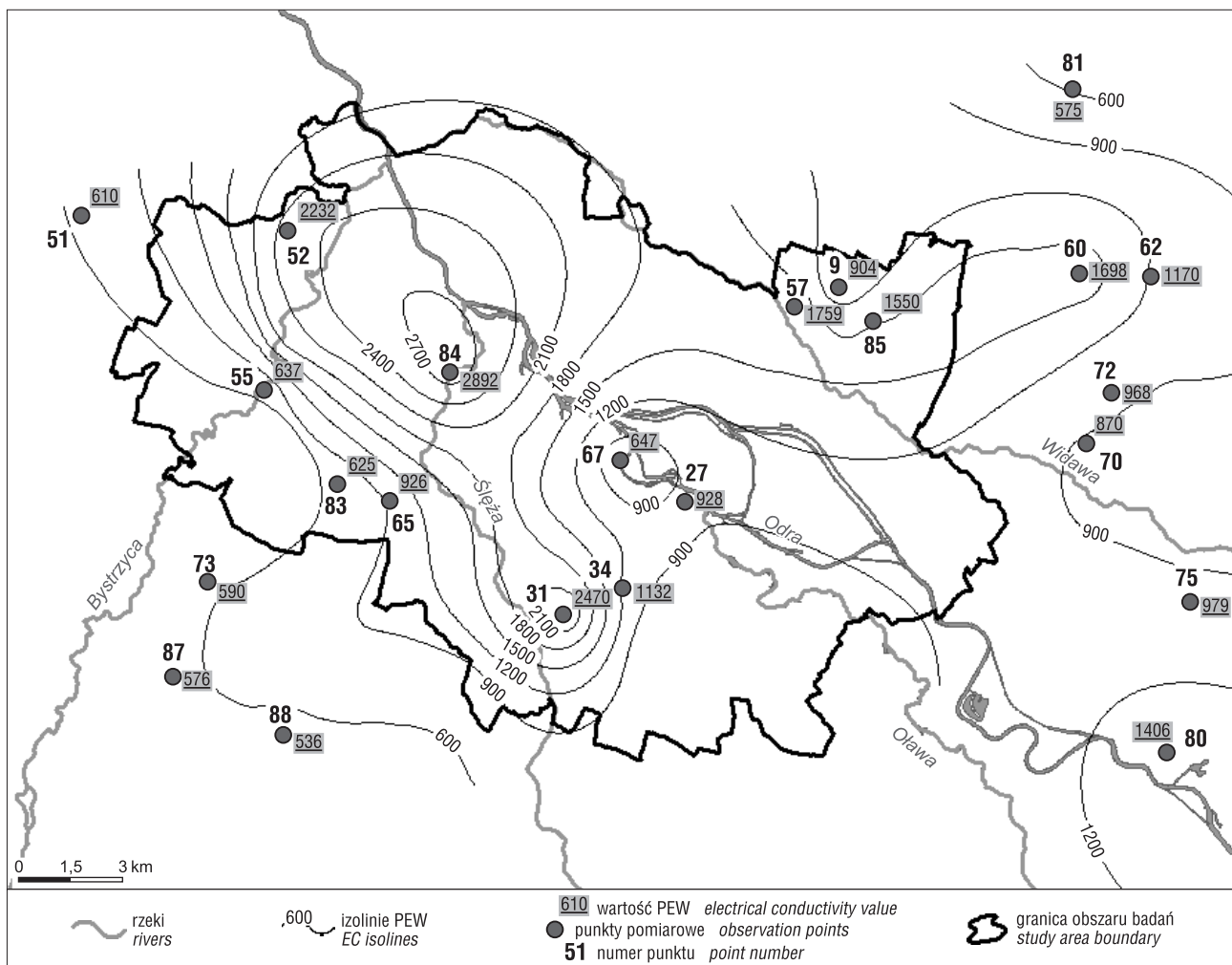
Formowanie się składu chemicznego wód podziemnych jest uzależnione od wielu czynników naturalnych,

w tym geograficznych, geologicznych, hydrogeologicznych, biologicznych, a także sztucznych, wywołanych gospodarczą działalnością człowieka (Macioszczyk, 1987).

Na badanym obszarze wpływ na kształtowanie się właściwości fizykochemicznych wód podziemnych piętra neogeńskiego ma dobra izolacja kilkudziesięciometrową warstwą ilów (Mroczkowska, 1995; Kiełczawa i in., 1997; Kieć, 1997; Wojciechowska, 1997a, b; Żuk, 2000).

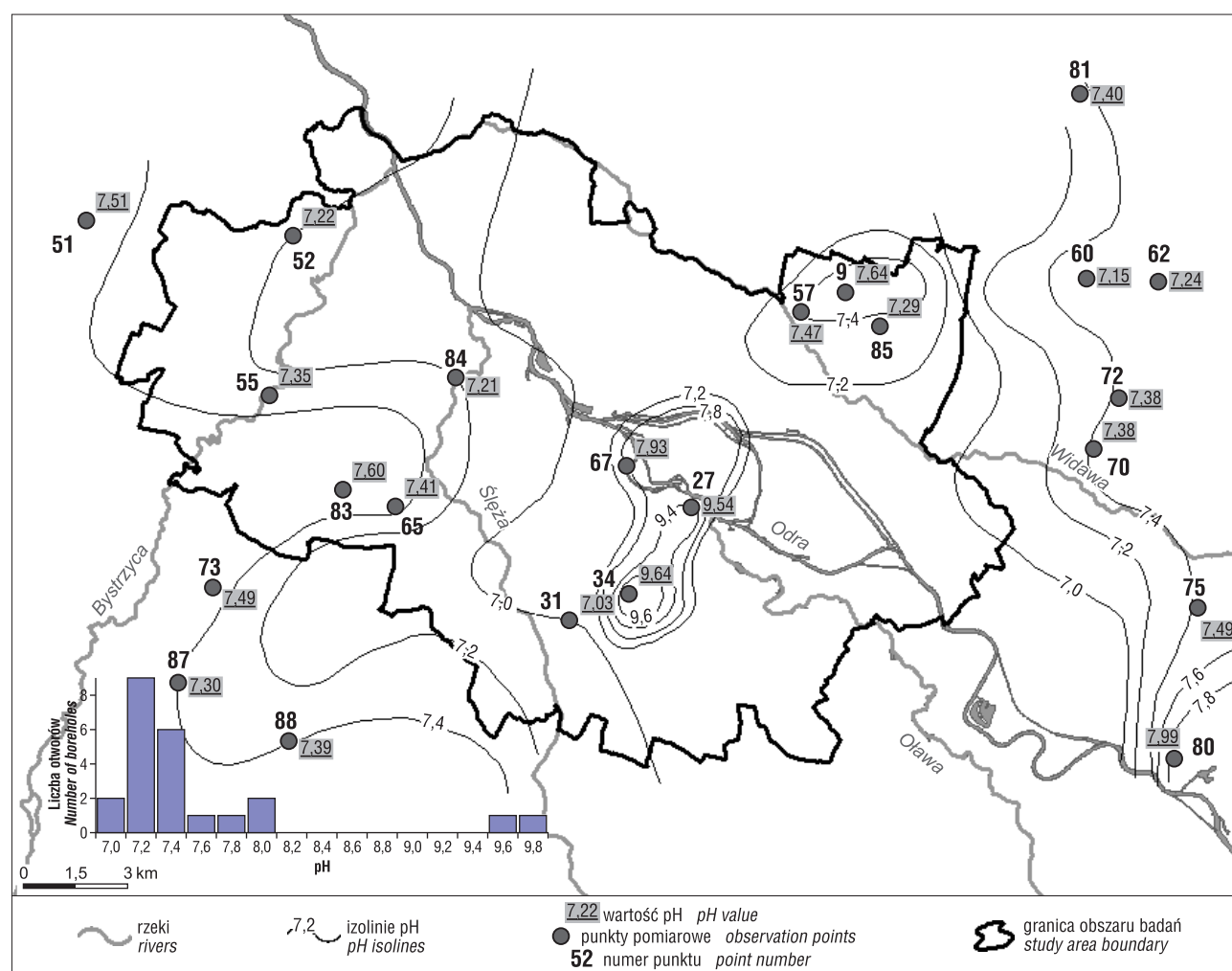
W granicach miasta Wrocławia i w jego najbliższych okolicach pomierzona przewodność elektrolityczna właściwa (PEW), która jest miarą mineralizacji wód, mieści się w przedziale od 536 (SW) do 2892  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (centrum miasta) (ryc. 3, tab. 3). Na przeważającej części obszaru wartości PEW nie przekraczają 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Najwyższe wartości przewodności elektrolitycznej właściwej, powyżej 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , zarejestrowano w trzech otworach (nr 31, 52, 84), przy czym jeden z nich (nr 31) ujmuje wody połączonych poziomów neogeńskich i czwartorzędowych, co zostało opisane powyżej. Sytuacja ta znalazła odzwierciedlenie w składzie chemicznym wód. Charakteryzują się one wysoką mineralizacją, wynoszącą 2470  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Głównymi składnikami o podwyższonych stężeniach były jony  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , co jest charakterystyczne dla wód piętra czwartorzędowego (Korwin-Piotrowska, 2016). W profilu dwóch pozostałych otworów (nr 52 i 84), nad ujętą warstwą wodonośną, występuje

**Ryc. 3.** Rozkład PEW w wodach podziemnych piętra neogeńskiego na obszarze badań, pomiary z dnia 09.09.2013 r.**Fig. 3.** Spatial distribution of electrical conductivity in the study area. Measurements made on 09.09.2013

**Tab. 3.** Analiza wyników oznaczeń laboratoryjnych składników wód piętra neogeńskiego z dnia 09.09.2013 r.  
**Table 3.** Analysis of laboratory results of chemical parameters of the Neogene multi-aquifer formation on 09.09.2013

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Liczba analiz Number of analyses	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Mediana Median	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean [x]	Odchylenie standardowe Standard deviation SD [s]	Współczynnik zmienności Coefficient of variation C.V. [Wz = s/x*100%]
TOC	[mg/dm <sup>3</sup> ]	23	<1,0	2,7	1,3	0,3	0,7	219%
PEW	[μS/cm]	23	536,0	2892,0	928,0	1160,0	660,0	57%
ZO	[mgCaCO <sub>3</sub> /dm <sup>3</sup> ]	23	84,0	608,0	280,0	278,9	102,9	37%
pH		23	7,03	9,64	7,40	7,60	0,7	8%
Ca <sup>2+</sup>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	23	4,1	321,9	89,2	116,1	79,3	68%
Mg <sup>2+</sup>		23	5,1	149,3	23,2	31,6	29,1	92%
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>		23	8,1	227,1	67,9	82,3	63,1	77%
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		23	<0,05	0,54	0,46	0,39	0,13	33%
Fe <sup>2+</sup>		23	<0,01	15,17	1,36	2,28	3,32	146%
Mn <sup>2+</sup>		23	<0,001	1,2	0,2	0,3	0,3	122%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		23	0,0	741,8	341,6	333,0	140,7	42%
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		23	<0,5	>500	109,9	115,6	145,5	126%
Cl <sup>-</sup>		23	8,5	421,0	53,7	105,8	113,1	107%
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		23	0,17	3,28	0,52	0,86	0,82	94%
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		23	0,01	0,30	0,04	0,07	0,07	104%
Br <sup>-</sup>		23	<0,1	1,51	1,28	0,11	0,33	300%
F <sup>-</sup>		23	<0,1	0,3	0,3	0,0	–	–
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		23	31,0	50,0	40,5	3,5	13,4	381%



**Ryc. 4.** Rozkład pH w wodach podziemnych piętra neogeńskiego na obszarze badań, pomiary z dnia 09.09.2013 r.

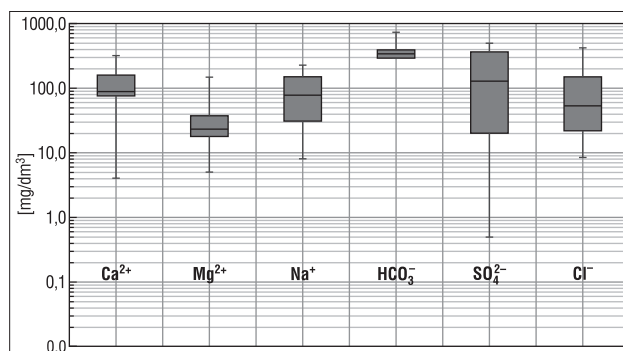
**Fig. 4.** Spatial distribution of pH value in the Neogene multi-aquifer formation in the study area. Measurements made on 09.09.2013

znaczny nadkład utworów ilastych (ok. 60–80 m). Wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wód w tych otworach są wysokie i wynoszą odpowiednio 2232 i 2 892  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Również stężenia siarczanów i chlorków w wodach z tych otworów są najwyższe i wynoszą odpowiednio dla  $\text{SO}_4^{2-}$  powyżej 500  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , a dla  $\text{Cl}^-$  279  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (otwór nr 52) oraz 421  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (otwór nr 84) (tab. 3).

Wody neogeńskiego piętra wodonośnego na obszarze badań charakteryzują się słabo zasadowym i zasadowym odczynem od 7,03 do 9,64, głównie od 7,1 do 7,5 (ryc. 4; tab. 3). W dwóch badanych otworach (nr 27, 34) wody posiadają odczyn zasadowy, pH wynosi odpowiednio 9,54 i 9,64. Może to być spowodowane błędem pomiarowym (zbyt krótki okres pompowania otworów). Wyniki badań pH, zawarte w materiałach archiwalnych, w tych otworach z roku 1964 i 1965 nie wykazały wysokich wartości pH. Wynosiły one 6,9 w otworze nr 34 oraz 6,8 w otworze nr 27.

W wodach piętra neogeńskiego dominują głównie jony  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{Cl}^-$ . Maksymalne stężenia jonów  $\text{Ca}^{2+}$  dochodzą do 322  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  – 742  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  powyżej 500  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , a  $\text{Cl}^-$  – 421  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (ryc. 5, tab. 3).

Stężenie jonów  $\text{Ca}^{2+}$  wynosi 4,1–321,9  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , najczęściej (39% badanych punktów) 75–100  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (ryc. 6; tab. 3). Najniższe stężenia jonów wapnia zarejestrowano w

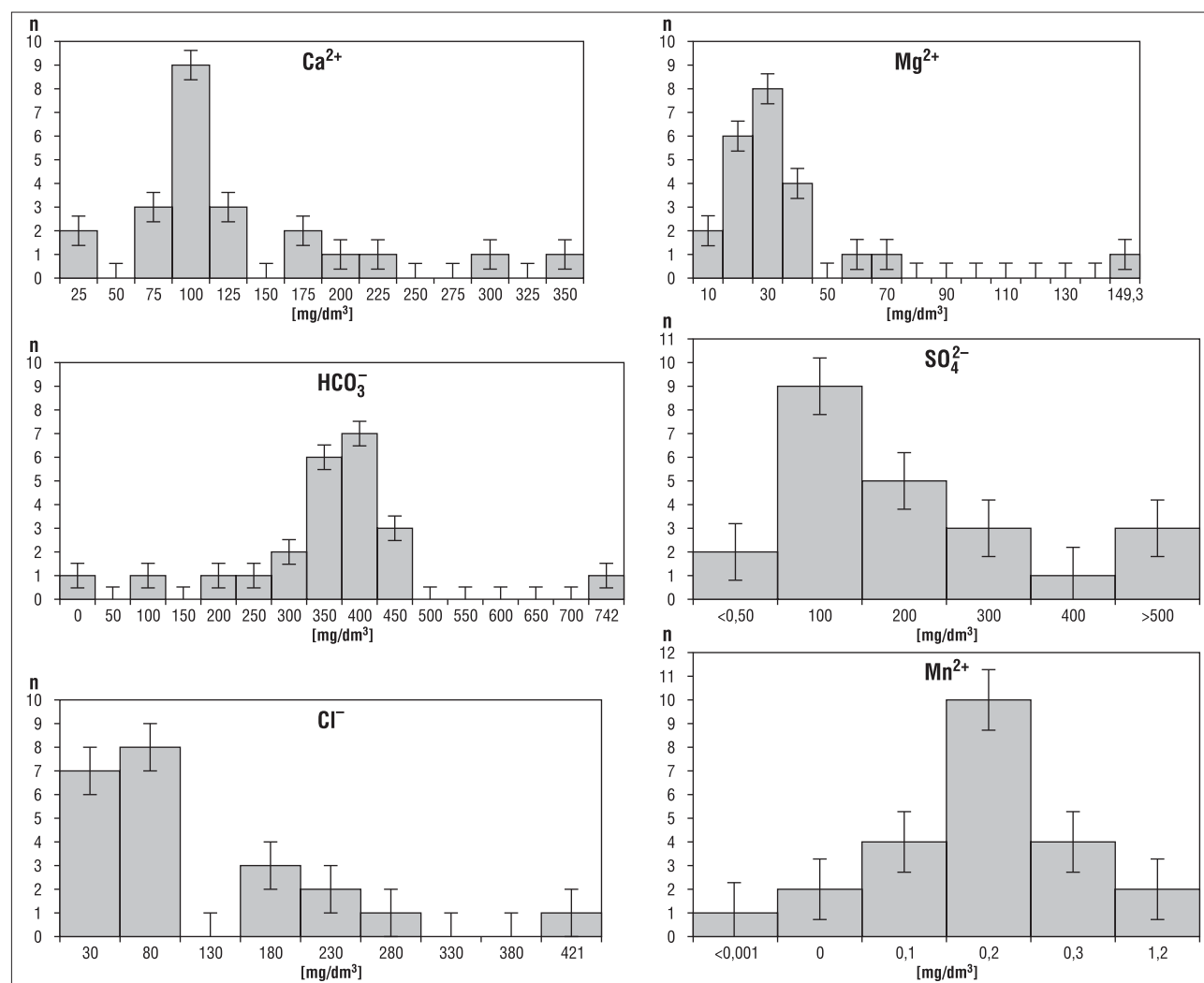


Ryc. 5. Stężenia wybranych jonów głównych w wodach piętra neogeńskiego na obszarze Wrocławia

Fig. 5. Concentrations of selected ions in the Neogene multi-aquifer formation in the Wrocław area

otworach nr 27 i 34 (4,1 i 4,7  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), czyli w centralnej i południowej części miasta. Najwyższe stężenia  $\text{Ca}^{2+}$ , zmieniające się od 224,4 do 321,9  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , układają się na kierunku NW–SE, co przypuszczalnie może wynikać z bliskości neogeńskiej warstwy wodonośnej względem utworów wapieni i dolomitów podłoża triasowego.

Stężenie jonów  $\text{Mg}^{2+}$  w wodach podziemnych piętra neogeńskiego najczęściej wynosi 20–30  $\text{mg}/\text{dm}^3$  i zmienia się w zakresie od 5,1 do 149,3  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (ryc. 6; tab. 3). Strefa



Ryc. 6. Histogramy rozkładu wybranych składników wód piętra neogeńskiego na badanym obszarze; n – liczba prób

Fig. 6. Histogram of distribution of selected components in the Neogene multi-aquifer formation in the study area; n – number of samples

wód o najwyższych stężeniach (od 51,9 do 149,3 mg/dm<sup>3</sup>), podobnie jak w przypadku stężenia wapnia, rozciąga się z NW na SE. Najniższe stężenia jonów magnezu, podobnie jak jonów wapnia, zarejestrowano w wodach w otworach nr 27 i 34.

Stężenia jonów HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> wynoszą od 0,0 (centrum miasta) do 741,8 mg/dm<sup>3</sup>, najczęściej jednak występują w przedziale 350–400 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 6; tab. 3). Najniższe stężenia jonów wodorowęglanowych zanotowano w centralnej części badanego obszaru, w otworach nr 34 i nr 27 (do 67,0 mg/dm<sup>3</sup>), natomiast najwyższe 742,0 mg/dm<sup>3</sup> w otworze nr 31, położonym na SW od centrum Wrocławia. W otworze nr 34 nie stwierdzono jonów HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (0,0 mg/dm<sup>3</sup>), natomiast zarejestrowano wysokie pH (9,40).

Stężenie jonów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> wykazuje bardzo duże zróżnicowanie – od poniżej 0,50 do ponad 500,0 mg/dm<sup>3</sup> – na ogół nie przekracza 100 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 6; tab. 3). Wysokie zawartości związków jonów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w wodach (ujętych otworami nr 52, 84 i 60), prawdopodobnie są związane z ascencją zmineralizowanych wód z utworów triasu. Wielu autorów (Krawczyk i in., 1996; Kiełczawa i in., 1997; Kieńć, 1997; Wojciechowska, 1997a, b; Żuk, 2000) stwierdzało pogorszenie jakości wód piętra neogeńskiego w przypadku kontaktu z wodami z utworów triasu. Warto zaznaczyć, że w przypadku np. wód z otworu nr 57 wysokie stężenie siarczanów może być spowodowane obecnością warstwy węgla brunatnego w profilu tego otworu nad ujętą warstwą wodonośną. Najniższe stężenia jonów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> obserwowano w otworach 27 i 34 (poniżej 0,50 mg/dm<sup>3</sup>), analogicznie jak dla jonów wapnia i magnezu.

Stężenia jonów Cl<sup>-</sup> w wodach na terenie badań zmieniają się od 8,5 do 421,0 mg/dm<sup>3</sup>, najczęściej występują w zakresie 30–80 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 6; tab. 3). W aspekcie prze-

strzennym obserwujemy analogię wystąpień najwyższych stężeń chlorków w wodach o najwyższych stężeniach manganu, żelaza i siarczanów.

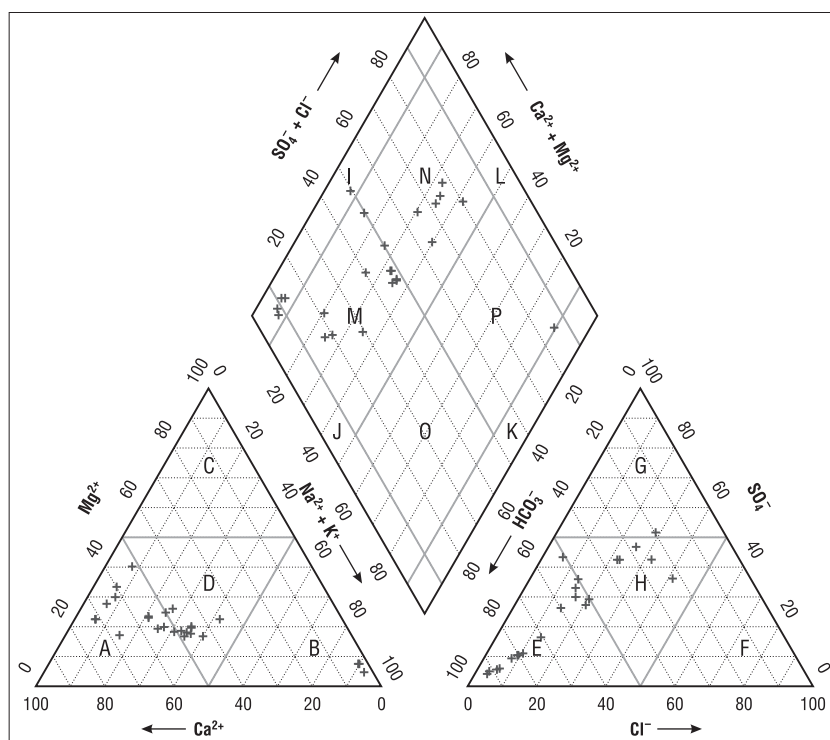
Wody piętra neogeńskiego, na podstawie diagramu Pipera, można zaklasyfikować do wód typu HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg oraz Cl-SO<sub>4</sub>-Ca-Mg (ryc. 7).

Zawartość żelaza w wodach piętra neogeńskiego, jako podrzędnego składnika wód podziemnych, wynosi na ogół powyżej 0,3 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 6; tab. 3). Najwyższe stężenia żelaza odnotowano w otworach nr 31 (15,2 mg/dm<sup>3</sup>) oraz nr 84 (7,3 mg/dm<sup>3</sup>).

W wodach piętra neogeńskiego obserwuje się podwyższone stężenia manganu. Stężenie manganu zmienia się od poniżej 0,001 (otwór nr 67) do 1,2 mg/dm<sup>3</sup> (otwór nr 80), najczęściej ok. 0,2 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 6, 7; tab. 3). Najwyższe stężenie manganu (1,2 mg/dm<sup>3</sup>) stwierdzono w wodach w otworach nr 31 oraz 80 (1,1 mg/dm<sup>3</sup>) (południowa część obszaru badań).

Analiza danych fizykochemicznych wykazała, że wody piętra neogeńskiego w obrębie badanego obszaru są dobrze izolowane od powierzchni terenu, mimo to ich skład chemiczny nie jest stabilny w układzie przestrzennym. Taka sytuacja niejednokrotnie dostarcza problemów w interpretacji genezy danego składnika, który może być zarówno wynikiem przemian geochemicznych, jak i powstawać na skutek działalności bytowej człowieka (Korwin-Piotrowska, 2016).

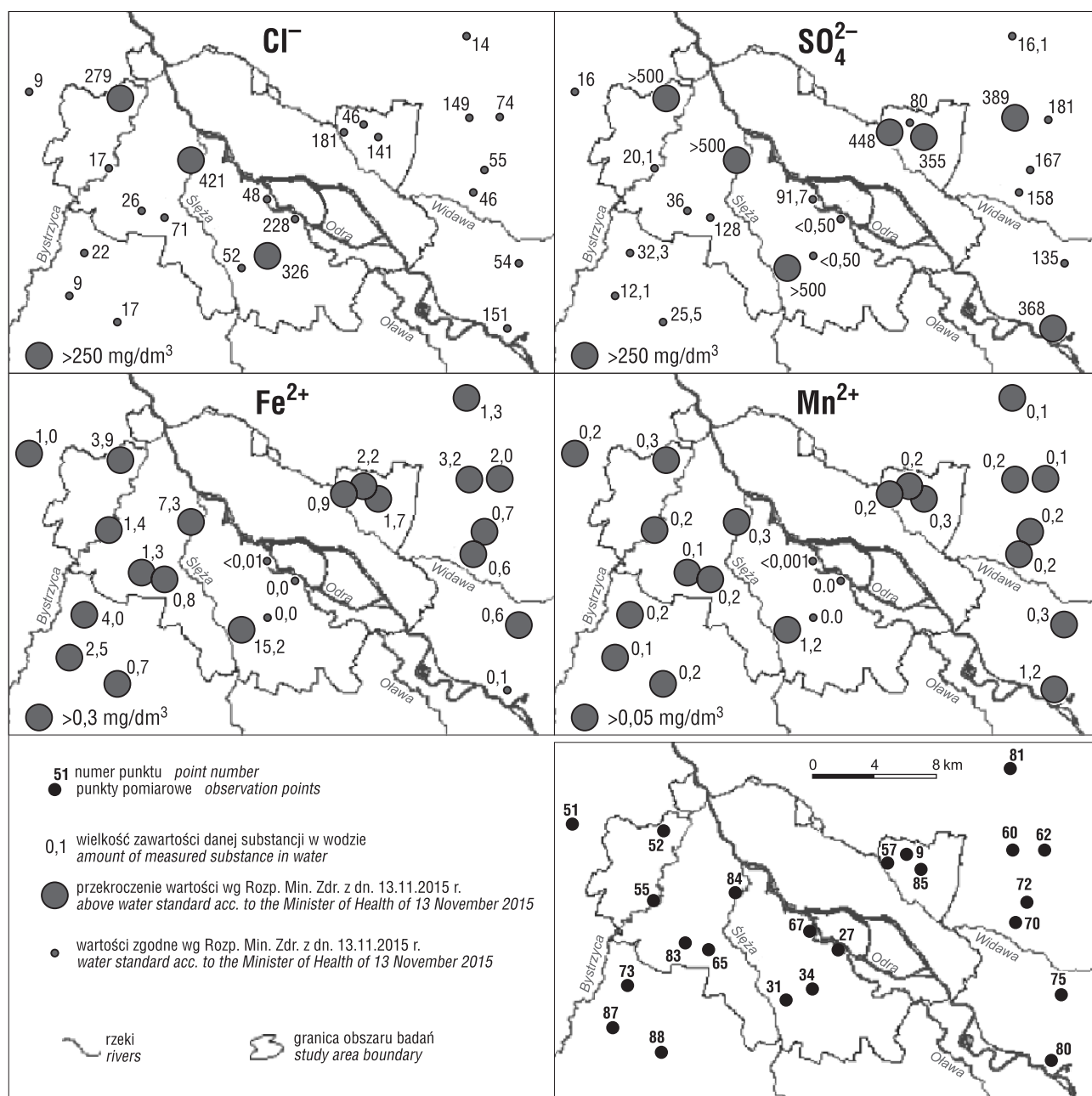
Na podstawie wykonanych analiz fizykochemicznych został zaprezentowany przestrzenny rozkład wybranych stężeń anionów i kationów wód piętra neogeńskiego z zaznaczeniem otworów z ponadnormatywnymi koncentracjami wg Rozporządzenia Ministra Zdrowia z 2015 r. (ryc. 8).



Ryc. 7. Skład jonowy wód piętra neogeńskiego na obszarze badań odwzorowany na diagramie Pipera

Fig. 7. Chemical facies in the Neogene multi-aquifer formation of the study area in Piper's diagram





**Ryc. 8.** Rozkład stężeń anionów i kationów [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] w wodach podziemnych piętra neogeńskiego na obszarze badań z dnia 09.09.2013 r.  
**Fig. 8.** Cations distribution [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] in the Neogene multi-aquifer formation in the study area on 09.09.2013

Największe przekroczenia stężeń dotyczyły kationów, tj.  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  i anionów  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Najliczniejsze przekroczenia dotyczyły stężeń jonów manganu (87% badanych próbek) i żelaza (83% badanych próbek). Przekroczenia te powtarzały się głównie w trzech otworach nr 52, 84 i 34. Wody z tych otworów są eksploatowane jedynie w celach rolniczych (nawadnianie ogródków działkowych) lub gospodarczo-sanitarnych (np. w toaletach stadionu miejskiego). Nie nadają się one do bezpośredniej konsumpcji bez ich wcześniejszego uzdatnienia.

#### PODSUMOWANIE

W pracy omówiono skład chemiczny wód piętra neogeńskiego na obszarze Wrocławia i jego najbliższych okolic. Wody podziemne piętra neogeńskiego występują od 10 do 158 m p.p.t., średnio ok. 80 m p.p.t., przez co są izolowane

od powierzchni terenu utworami słaboprzepuszczalnymi (iły, gliny). Ma to wpływ na kształtowanie się ich właściwości fizycznych oraz składu chemicznego.

Wody piętra neogeńskiego można zaklasyfikować do wód o typie hydrochemicznym  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  oraz  $\text{Cl-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ .

pH zmienia się od 7,03 do 9,64, badane wody charakteryzują się więc słabo zasadowym odczynem. Mineralizacja wód piętra neogeńskiego wyrażona przewodnością elektrolityczną właściwą (PEW) waha się od 536 do 2892  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Wysokie wartości PEW autorka łączy z możliwością ascencji wód o wyższej mineralizacji pochodzących z utworów triasu bądź występowaniem warstw węgla brunatnych w profilu otworu. Dowodem na ascję wód do poziomu neogeńskiego mogą być próbki wody z otworów (nr 52, 84) będące pod nakładem (ok. 60–70 m) utworów słabo-

przepuszczalnych (iłów), a charakteryzujące się wysokim stężeniem siarczanów ( $>500 \text{ mg/dm}^3$ ) i chlorków ( $279\text{--}421 \text{ mg/dm}^3$ ). Składniki te są charakterystyczne dla wód piętra triasowego zalegającego poniżej ujętych warstw neogeńskich. Oprócz wysokich stężeń siarczanów i chlorków odnotowano liczne przekroczenia stężeń jonów manganu (87% badanych próbek) i żelaza (83% badanych próbek).

Zmiany stężeń wybranych jonów w badanych wodach piętra neogeńskiego przedstawiają się następująco: dla wapnia  $4,1\text{--}321,9 \text{ mg/dm}^3$ , dla magnezu  $20\text{--}30 \text{ mg/dm}^3$ , dla wodorowęglanów  $0,0\text{--}741,8 \text{ mg/dm}^3$ , dla siarczanów  $<0,50\text{--}>500 \text{ mg/dm}^3$ , dla chlorków  $8,5\text{--}421,0 \text{ mg/dm}^3$ , dla żelaza  $<0,01\text{--}15,2 \text{ mg/dm}^3$ , dla manganu  $0,0\text{--}1,2 \text{ mg/dm}^3$ .

Na podstawie rozpoznania stanu chemicznego wód piętra neogeńskiego w rejonie Wrocławia stwierdzono, że mogą one być eksploatowane jako wody przeznaczone do spożycia, jednakże po wcześniejszym procesie uzdatniania. Bardzo ważnym elementem jest rozpoznanie zasobów wód piętra neogeńskiego możliwych do eksploatacji, tak żeby nie doprowadzić powtórnie do wytworzenia lejów depresyjnych na terenie miasta.

Podstawą niniejszego artykułu była rozprawa doktorska przygotowana pod kierunkiem dr. hab. Henryka Marszałka, któremu pragnę serdecznie podziękować za uwagi i opiekę okazaną w trakcie pisania pracy. Wyrażam również wyrazy wdzięczności recenzentom – prof. Jackowi Motycy i dr. hab. Ewie Krogulec. Podziękowania kieruję także do dr. hab. inż. Józefa Chowańca za wskazówki dotyczące ostatecznej wersji artykułu. Wyrażam również wyrazy wdzięczności Redaktorowi Naczelnemu – dr. hab. Andrzejowi Gąsiewiczowi oraz całemu Zespołowi Redakcyjnemu za wskazówki i pracę nad ostatecznym kształtem publikacji.

## LITERATURA

BUKSIŃSKI S., WALCZAK-AUGUSTYNIAN M., WRÓŃSKI J. 1974a – Atlas Geologiczny Wrocławia, część I – Mapy i przekroje geologiczne. Wyd. Geol., Warszawa.  
 GOLDSZTEJN J. (red.) 2009 – Baza danych geologiczno-inżynierskich wraz z opracowaniem atlasu geologiczno-inżynierskiego aglomeracji wrocławskiej. PG Proxima, Wrocław.  
 KIELCZAWA J., MROCZKOWSKA B., KLONOWSKI M. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Leśnica (763) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

KIELCZAWA J., MICHNIEWICZ M., WOJTKOWIAK A., SOBOL L. 2005 – Wody podziemne. [W:] Opracowanie fizjograficzne dla województwa wrocławskiego. Wojewódzkie Biuro Urbanistyczne. Wrocław.  
 KIEŃC D. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Trzebnica (727) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 KLAPCINIŃSKI J. 1993 – Litostratygrafia profili głębokich otworów wiertniczych Wrocławia i obszarów przyległych. Acta Univ. Wratisl., Pr. Geol. Miner., 41. Wyd. Uwr, Wrocław.  
 KORWIN-PIOTROWSKA A. 2016 – Dynamika zmian stanów wód neogeńskiego piętra wodonośnego w obszarze Wrocławia (rozprawa doktorska). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.  
 KORWIN-PIOTROWSKA A., KRAWCZYK J. 2013 – Wahania zwierciadła wód neogeńskiego piętra wodonośnego w rejonie Wrocławia. Biul. Państw. Inst. Geol., 456 (456/1): 299–304.  
 KRAWCZYK J., BOROWIEC A., JĘDRUSIAK M., KIEŃC D., NOWAK A., KUZYŃKÓW H. 1996 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędowych, trzeciorzędowych i triasowych rejonu niecki wrocławskiej (II etap) z uwzględnieniem GZWP. PG Proxima, Wrocław.  
 MACIOSZCZYK A. 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa.  
 MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B., PACZYŃSKI B. 1991 – Region wrocławski. [W:] Malinowski J. (red.), Budowa geologiczna Polski, tom VII. Hydrogeologia. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 93–107.  
 MROCZKOWSKA B. 1995 – Zmiany jakości wód kenozoiku w zachodniej części Wrocławia i okolicach. Materiały z sesji „Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego”. Roczn. Pol. Tow. Geol., wyd. specjalne. Wrocław: 79–89.  
 MROCZKOWSKA B., MICHNIEWICZ M. 1974 – Atlas geologiczny Wrocławia. Cz. III. Mapy hydrogeologiczne. Wyd. Geol., Warszawa.  
 NOWICKI Z. (red.) 2007 – Wody podziemne w obrębie wojewódzkich miast Polski – Wrocław. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 OBERC J. 1972 – Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika cz. 2, Sudety i obszary przyległe. Inst. Geol., Warszawa.  
 STAŠKO S., KOWALCZYK A., RUBIN H., RUBIN K., 2007 – Subregion środkowej Odry południowy. [W:] Paczyński B., Sadurski A. (red.), Hydrogeologia regionalna Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 327–340.  
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. z 2015 r. poz. 1989.  
 WINNICKA G. 1988 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Wrocław (764). Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 WOJCIECHOWSKA R. 1997a – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Laskowice Oławskie (765) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 WOJCIECHOWSKA R. 1997b – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Oborniki Śląskie (726) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.  
 WORSZA-KOZAK M. 2006 – Wahania zwierciadła wód podziemnych na terenach zurbanizowanych (miasto Wrocław) (rozprawa doktorska). Arch. UWroc., Wrocław.  
 ŻUK U. 2000 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Wrocław (764) wraz z objaśnieniami. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 6.07.2017 r.  
 Akceptowano do druku 15.11.2017 r.