

## Geogeniczne anomalie chlorkowe w wodach podziemnych poziomów użytkowych Polski centralnej

Dorota Kaczor-Kurzawa<sup>1</sup>

**Geogenic chlorides anomalies in groundwater of useful aquifers in Central Poland.** Prz. Geol., 65: 1282–1289.

*Abstract.* Zones of Cl anomalies in Mesozoic and Cenozoic aquifers, defined as groups of wells with concentration of the chloride ion in groundwater exceeding 60 mg/dm<sup>3</sup>, were mapped on the basis of 12 000 archival chemical analyses. These zones are predominantly developed in tectonic conditions enabling the inflow of Mesozoic salt waters into useful aquifers: 1) fault zones, 2) hydrogeological windows above salt anticlines and elevated tectonic blocks, and 3) salt diapirs. As a result, significant decline in groundwater quality has been reported from many intakes due to the elevated concentration of chlorides, sodium and the ammonium ion.

**Keywords:** chloride anomalies, groundwater, useful aquifers, Central Poland

Przedmiotem artykułu są strefy anomalnego stężenia jonu chlorkowego w wodach podziemnych kenozoicznych i mezozoicznych poziomów użytkowych, powstałe wskutek migracji słonych wód mezozoiku, a także zmiany, jakie zjawisko to powoduje w składzie chemicznym i jakości wód podziemnych eksploatowanych w Polsce centralnej.

Zasolenie płytko występujących wód zwykłych Niżu Polskiego było przedstawiane zarówno jako skutek rozpuszczania cechsztyńskich soli przez wody infiltracyjne, jak również jako rezultat ascenzji reliktowych wód mezozoiku (Macioszczyk, 1980; Dowgiałło, Nowicki, 1997; Gmurczyk, 1999; Kaczor, 2005; Dowgiałło i in., 2007; Górski, Rasała, 2008; Krawiec, 2013; Kaczor-Kurzawa, 2014).

### DANE, METODY I OBSZAR BADAŃ

Do udokumentowania przestrzennej zmienności stężenia jonu chlorkowego wód (stanu zasolenia wód) wykorzystano prawie 12 000 archiwalnych analiz chemicznych z banku danych hydrogeologicznych PIG-PIB i MHP 1 : 50 000, a także dane z Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Bydgoszczy. Dane te zweryfikowano, uwzględniając zawartości związków azotu i siarczanów, głębokość ujmowanego poziomu, sposób zagospodarowania terenu, żeby wyeliminować oznaczenia wskazujące na antropogeniczne przyczyny podwyższenia stężeń chlorków, według kryteriów określonych przez Macioszczykową (1991), Grube i in. (2000) i Górskiego (2001).

W przedstawianej pracy strefy anomalnych stężeń chlorków są zdefiniowane jako zgrupowania studni o zawartości jonu chlorkowego w wodzie powyżej 60 mg/dm<sup>3</sup>, czyli górnej granicy tła hydrogeochemicznego (Witczak i in., 2013). Lokalizację tych stref przedstawia Mapa anomalii chlorkowych w poziomach użytkowych wód podziemnych opracowana na podstawie danych z niespełna 1000 otworów (ryc. 2, 4, 7).

Dla wybranych czynnych studni w obrębie stref anomalii chlorkowych takich jak w Szubinie, Inowrocławiu, Ciecho-

zinku, Izbicy Kujawskiej, Krzepocinie, Pniewie, Orłowie i Włocławku wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym PIG-PIB w Warszawie pełne analizy fizykochemiczne (metodą spektrofotometryczną, ICP-OES, ICP-MS) oraz oznaczenia stabilnych izotopów tlenu i wodoru (metodą ablacji laserowej).

Analizowany obszar (28 000 km<sup>2</sup>) obejmuje części województw kujawsko-pomorskiego, łódzkiego, wielkopolskiego i mazowieckiego (ryc. 1). Teren ten odpowiada w przybliżeniu centralnej strefie tektoniki salinarnej, gdzie najlepiej rozwinęły się struktury solne w postaci wałów, słupów i diapiarów, częściowo lub całkowicie przebijając skały mezozoiku (Dadlez, 1997).

### WYNIKI I DYSKUSJA

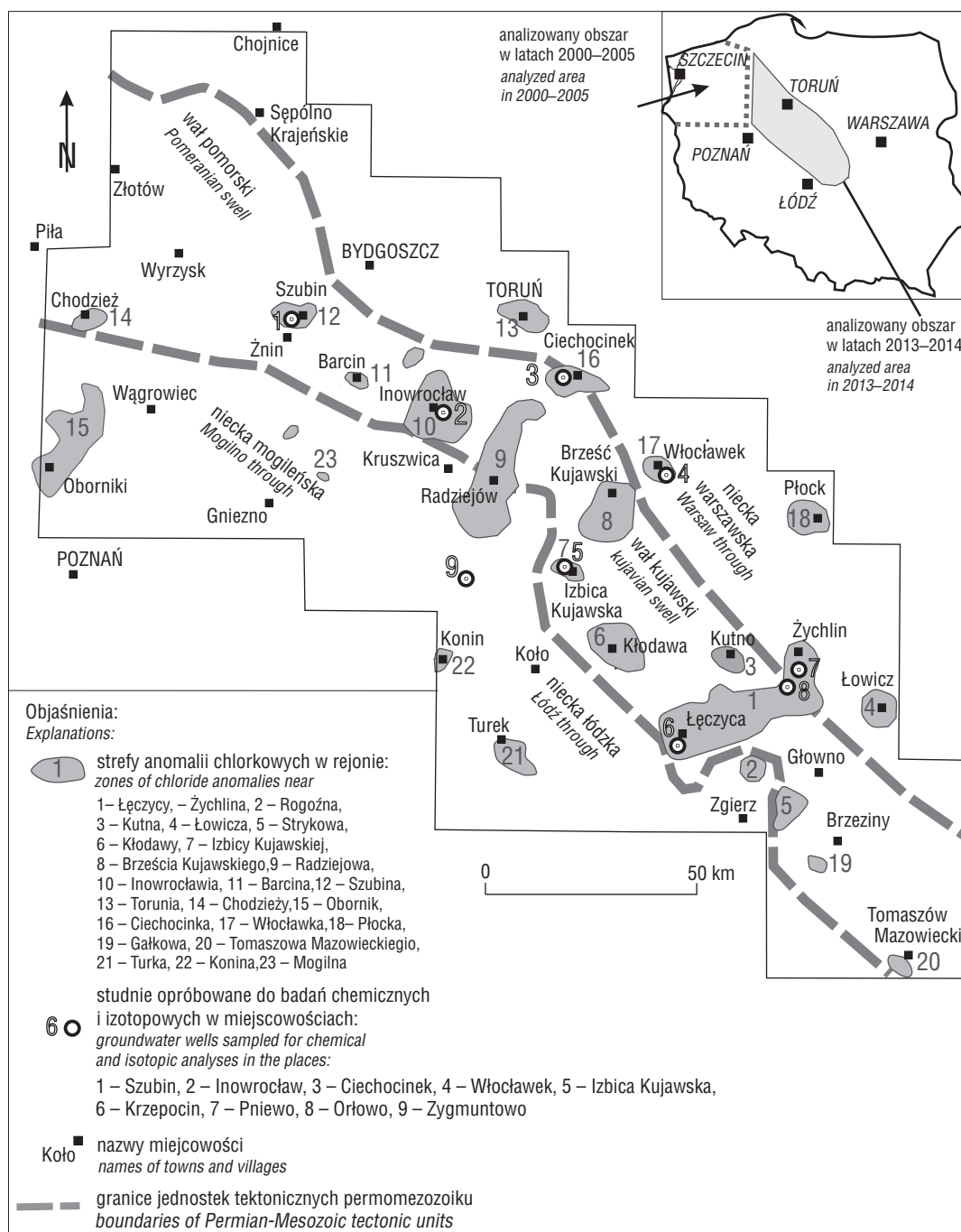
Na wynikowej mapie wyznaczono strefy geogenicznych anomalii chlorkowych w wodach podziemnych, obejmujących ok. 20% analizowanego obszaru. Przedstawiono uogólnioną charakterystykę, bardziej szczegółowo ilustrując przykłady stref anomalii w rejonach Szubina, Łęczycy i Żychlina oraz Inowrocławia.

#### Uwarunkowania tektoniczne rozwoju anomalii chlorkowych

Odniesienie danych hydrochemicznych do elementów tektonicznych permomezozoiku i zmienności ich pokrywy kenozoicznej potwierdza zbieżność lokalizacyjną stref anomalii chlorkowych z obszarami o budowie sprzyjającej dopływom wód słonych mezozoiku do poziomów użytkowych. Są to:

- strefy uskokowe, szczególnie na granicach jednostek tektonicznych,
- okna hydrogeologiczne na wyniesionych grzbietach antyklin solnych i blokach tektonicznych,
- dojrzałe wysady, w których następuje kontakt soli z wodami strefy aktywnej wymiany.

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce; dorota.kaczor-kurzawa@pgi.gov.pl.

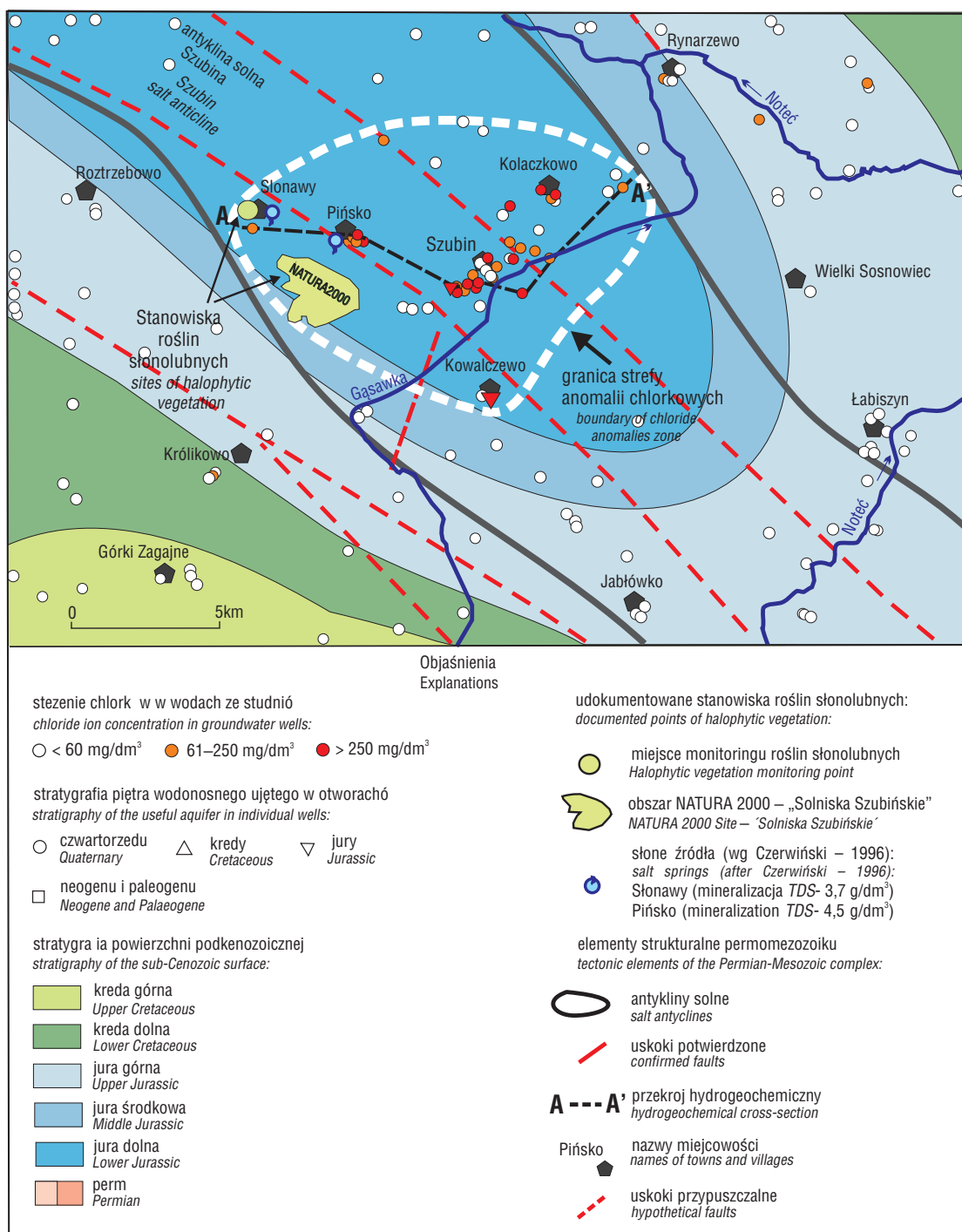


**Ryc. 1.** Lokalizacja stref anomalii chlorkowych w wodach poziomów użytkowych na analizowanym obszarze  
**Fig. 1.** Location of zones of chloride anomalies within useful aquifers in the analyzed area

Strefy anomalnych stężeń chlorków w okolicach Torunia, Ciechocinka, Włocławka, Kutna, Łowicza, Tomaszowa Mazowieckiego, Kruszwicy, Chodzieży oraz Łęczycy i Żychlina (ryc.1, 4–6) są związane z wyniesionymi blokami tektonicznymi, budującymi wał kujawski oraz strefami uskokowymi rozdzielającymi go od niecek mogileńsko-łódzkiej i warszawskiej. Migracja wód słonych przez rozłamy tektoniczne, miejscami przecinające cały permomezozoik oraz system uskoków niższej rangi, powoduje dopływ wód słonych z głębszych partii mezozoiku do poziomów użytkowych. Podobne sytuacje opisano z pogra-

nicza wału pomorskiego oraz niecek pomorskiej i szczecińskiej (Kaczor, 2005). O warunkach umożliwiających ascenję świadczą badania ciśnienia złożowego wód mezozoiku w głębokich otworach badawczych, potwierdzające, że zwierciadła statyczne niektórych z przewierczanych poziomów solanek stabilizują się nad powierzchnią terenu lub na głębokości występowania poziomów wód użytkowych.

Powstanie anomalii chlorkowych wskutek rozpuszczania cechsztyńskich soli można wiązać z rozwiniętymi wyładami Mogilna, Kłodawy, Rogoźna, Inowrocławia i Góry (ryc. 1, 7, 8), w obrębie których istnieje obecnie kontakt soli



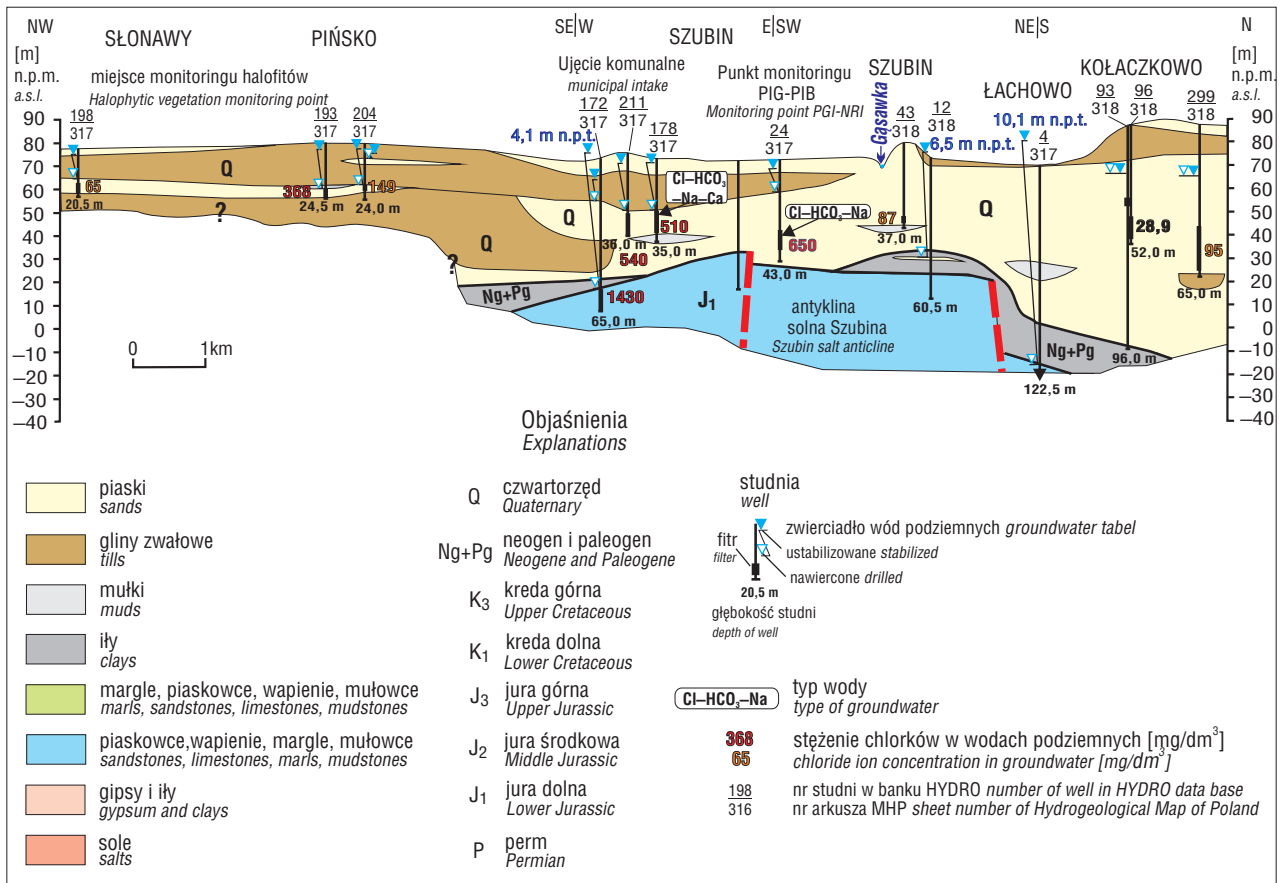
Ryc. 2. Mapa strefy anomalii chlorkowej Szubina; mapa geologiczna bez utworów kenozoiku wg Dadlez, 2000  
Fig. 2. Map of the Szubin chloride anomalies zone; geological map without Quaternary deposits after Dadlez, 2000

z wodami strefy aktywnej wymiany lub kontakt taki istniał w kenozoiku. Nie stwierdzono anomalii chlorkowych przy wysadach Damasławka, Łanięta i Lubienia Kujawskiego.

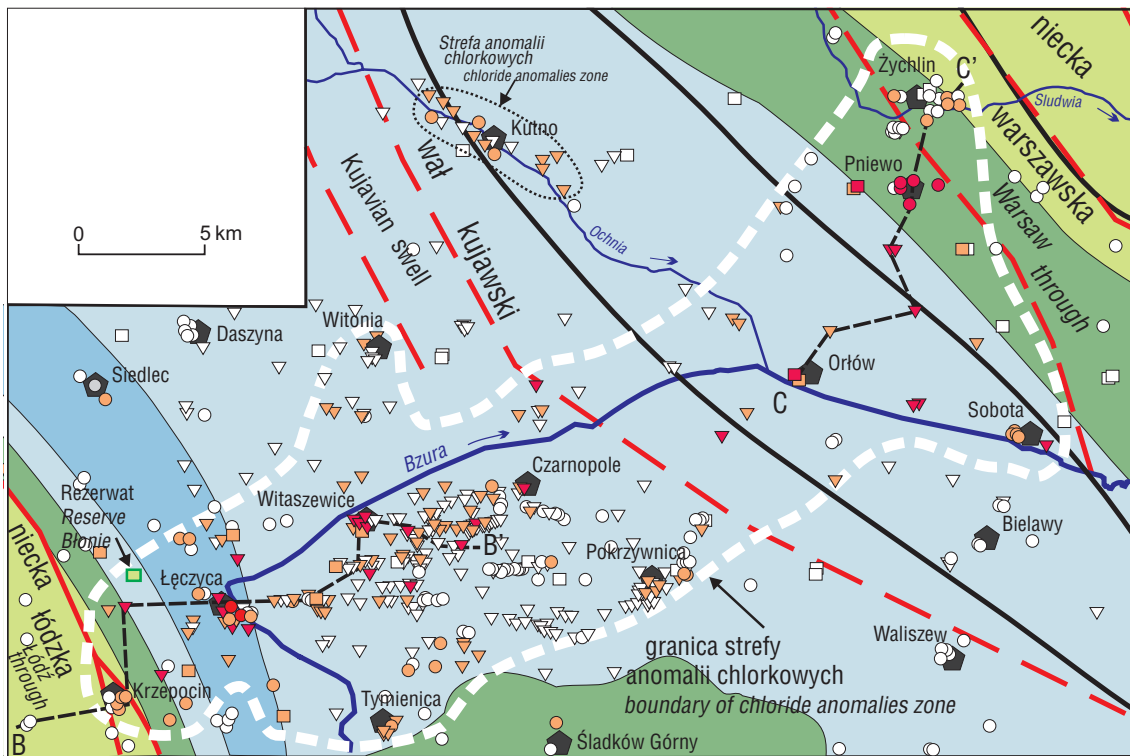
Pozostałe struktury solne to słabiej rozwinięte poduszki i wały solne nie przebijające skał mezozoiku, w których sole nie mają kontaktu z wodami strefy aktywnej wymiany. Uskoki w budujących je skałach mezozoiku utworzyły drogi ascencji dla słonych reliktowych wód mezozoiku, a ich dopływ do piętra czwartorzędowego następuje przez okna hydrogeologiczne, na grzbietach antyklin, w miejscach erozyj-

nego usunięcia izolujących ilów paleogenu i neogenu. Tak można tłumaczyć występowanie stref anomalii chlorkowych w wodach podziemnych nad antyklinami w okolicach Brzeźcia Kujawskiego, Aleksandrowa Kujawskiego i Szubina (ryc. 1–3). Anomalie takie opisano w północno-zachodniej Polsce (Kaczor, 2005) i w Niemczech (Grube i inni, 2000).

W obrębie stref anomalii chlorkowych Łęczycy–Żychlina (ryc. 5, 6), Szubina (ryc. 3) i Inowrocławia (ryc. 8), zwierciadło wody z zasolonych pięter jury, neogenu i paleogenu w wielu miejscach stabilizuje się nad powierzchnią

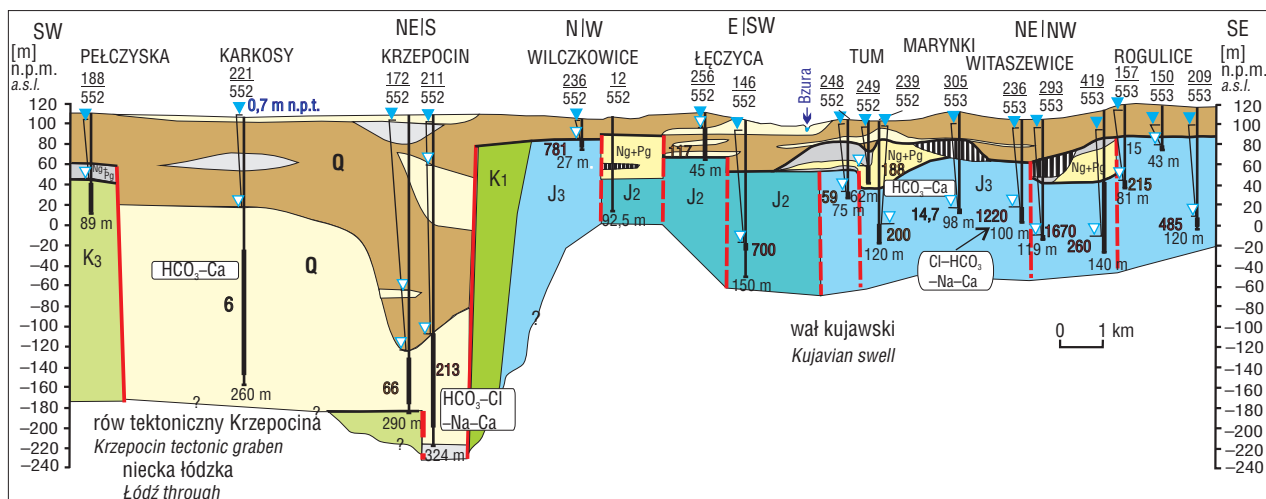


Ryc. 3. Przekrój hydrogeochemiczny A–A' przez strefę anomalii chlorkowych Szubina  
Fig. 3. Hydrogeochemical cross-section A–A' through the Szubin chloride anomalies zone



Ryc. 4. Mapa strefy anomalii chlorkowych między Łęczycą i Żychlinem. Objasnienia jak na ryc. 2  
Fig. 4. Map of chloride anomalies zone between Łęczycą and Żychlin. Explanations as in Fig. 2





Ryc. 5. Przekrój hydrogeochemiczny B-B' przez strefę anomalii chlorkowych koło Łęczyczy. Objasnienia jak na ryc. 3  
 Fig. 5. Hydrogeochemical cross-section B-B' through the chloride anomalies zone near Łęczycza. Explanations as in Fig. 3

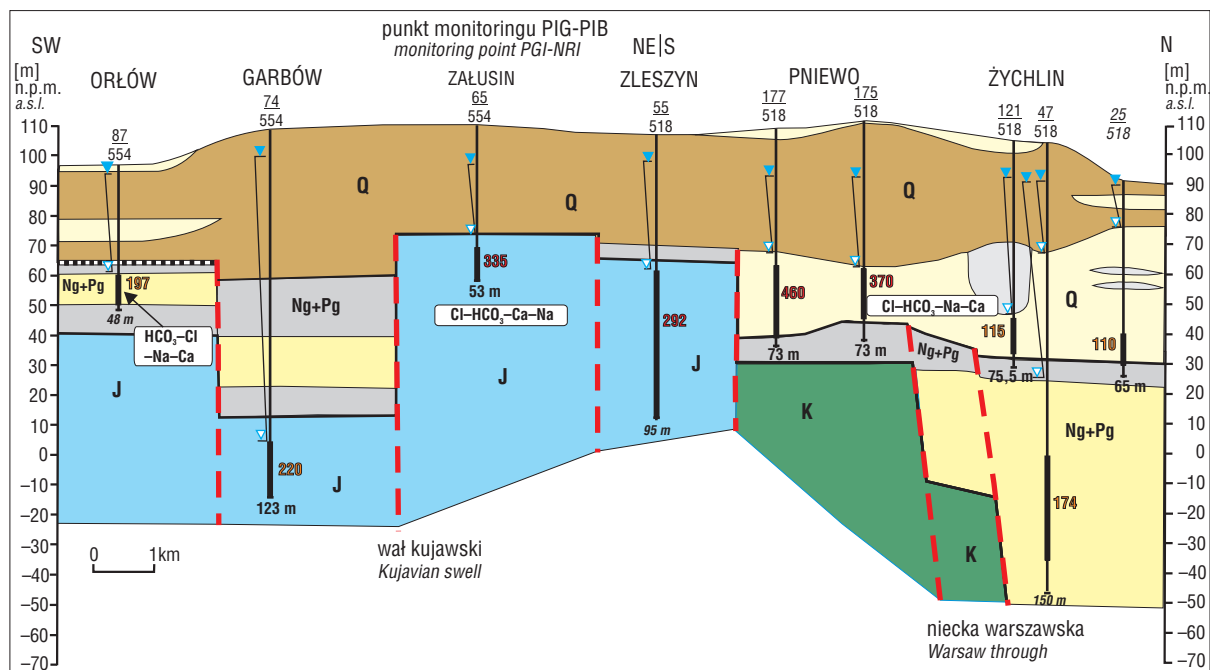
terenu lub w jej pobliżu, co sprzyja samowypływom wód słonych, szczególnie we wcięciach erozyjnych, jak w dolinie Bzury. W takich obszarach powstały naturalne anomalie chlorkowe umożliwiające rozwój stanowisk halofitów, jak np. Obszar Natura 2000 – Solniska Szubińskie (ryc. 2, 3) rezerwat Błonie koło Łęczyczy (ryc. 4, 5). Występowanie anomalii potwierdzono badaniami gleboznawczymi (Czerwiński, 1996) oraz archeologicznymi – pozostałości po warzelniach soli w okolicach Inowrocławia i Łęczyczy (Jodłowski, 1977).

**Zmiany chemizmu i obniżenie jakości eksploatowanych wód wskutek ascenzji solanek mezozoiku**

Dopływ wód słonych z mezozoiku prowadzi do zmiany typu chemicznego zwykłych wód podziemnych (HCO<sub>3</sub>-Ca) na wody typu chlorkowego (Cl-HCO<sub>3</sub>-Na-Ca; HCO<sub>3</sub>-Cl-Na-Ca) – tabela 1. W wielu studniach, w obrębie wyznaczonych stref anomalii, nastąpiło obniżenie jakości wód podziemnych wskutek ponadnormatywnego stężenia chlorków (> 250 mg/dm<sup>3</sup>) występującego wraz ze zwiększoną zawarto-

Tab. 1. Wyniki analiz chemicznych i izotopowych prób wody pobranych w 2013 r.  
 Table 1. Results of chemical and isotopic analyses of water samples taken in 2013

Miejscowość (nr lub nazwa studni na ujęciu) Location (well no. or name)	Stratygrafia /głęb. stropu ujętego poziomu Stratigraphy/depth to exploited aquifer [m]	Typ chemiczny Chemical type	Przewodność Conductivity [µS/cm] Zawartość Cl- Content of Cl- [mg/dm <sup>3</sup> ]	Skrócony zapis chemizmu wód Brief record of water chemistry [% mval]	δ <sup>2</sup> H [‰]	δ <sup>18</sup> O [‰]
Szubin (4)	Q/22	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	1948 510	Cl <sup>72</sup> SO <sub>4</sub> <sup>5</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>23</sup> Na <sup>64</sup> Ca <sup>26</sup> Mg <sup>8</sup>	-69,5	-9,66
Szubin (6)	Q/25	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	2020 540	Cl <sup>73</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>24</sup> Na <sup>65</sup> Ca <sup>24</sup> Mg <sup>9</sup>	-70,7	-9,71
Krzepecin (1b)	Q/236,3	HCO <sub>3</sub> -Cl- Na-Ca	942 161	Cl <sup>47</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>51</sup> Na <sup>49</sup> Ca <sup>38</sup> Mg <sup>10</sup>	-68,1	-9,51
Pniewo (4)	Q/48,0	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	1802 370	Cl <sup>55</sup> SO <sub>4</sub> <sup>4</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>40</sup> Na <sup>51</sup> Ca <sup>31</sup> Mg <sup>16</sup>	-67,9	-9,5
Orłów (2)	Tr/35,0	HCO <sub>3</sub> -Cl- Na-Ca	1228 197	Cl <sup>43</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>53</sup> Na <sup>45</sup> Ca <sup>36</sup> Mg <sup>16</sup>	-69,6	-9,7
Izbica Kujawska (1B)	Q/40,0	HCO <sub>3</sub> -Cl-Na-Ca	1533 310	Cl <sup>54</sup> SO <sub>4</sub> <sup>4</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>42</sup> Na <sup>50</sup> Ca <sup>35</sup> Mg <sup>12</sup>	-66,7	-9,19
Włocławek – ujęcie Zawisze (st.1a)	Cr/128,0	HCO <sub>3</sub> -Cl-Na-Ca	772 108	Cl <sup>39</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>59</sup> Na <sup>52</sup> Ca <sup>30</sup> Mg <sup>10</sup>	-76,8	-10,29
Zygmuntowo k/Konina	Cr/62,0	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	2428 590	Cl <sup>66</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>31</sup> Na <sup>55</sup> Ca <sup>31</sup> Mg <sup>11</sup>	-68,5	-9,36
Inowrocław (Jadwiga)	J/47,3	Cl-Na-Ca	5250 1600	Cl <sup>76</sup> SO <sub>4</sub> <sup>4</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>11</sup> Na <sup>56</sup> Ca <sup>30</sup> Mg <sup>13</sup>		
Inowrocław (Inowrocławianka)	Q/35,0	Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	2510 560	Cl <sup>59</sup> SO <sub>4</sub> <sup>14</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>27</sup> Na <sup>54</sup> Ca <sup>29</sup> Mg <sup>15</sup>	-69,5	-9,58
Inowrocław (IL-1)	J/486,5	Cl-Na	20490 8800	Cl <sup>93</sup> SO <sub>4</sub> <sup>4</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>3</sup> Na <sup>94</sup> Ca <sup>4</sup> Mg <sup>2</sup>		
Ciechocinek (Krystyna)	J/22,5	Cl-Na	5390 1700	Cl <sup>85</sup> SO <sub>4</sub> <sup>4</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>13</sup> Na <sup>75</sup> Ca <sup>16</sup> Mg <sup>8</sup>		



**Ryc. 6.** Przekrój hydrogeochemiczny C–C' przez strefę anomalii chlorkowych koło Żychlina. Objasnienia jak na ryc. 3  
**Fig. 6.** Hydrogeochemical cross-section C–C' through the chloride anomalies zone near Żychlin. Explanations as in Fig. 3

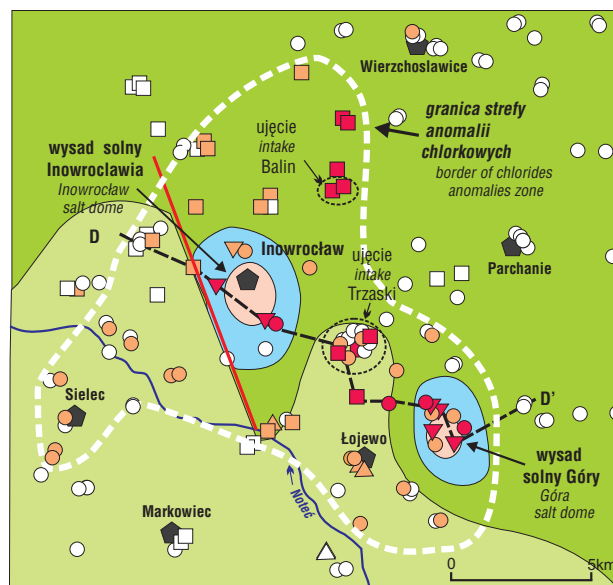
ścią sodu ( $> 200 \text{ mg/dm}^3$ ), jonu amonowego ( $> 0,5 \text{ mg/dm}^3$ ) przy niskiej zawartości siarczanów, azotanów i azotynów. W wodach tych również stężenia jonów K, Sr, B, Mg, Ba są wyraźnie wyższe niż w wodach zwykłych. Na przykład w wodach z poziomu kredy, ujętego na głębokości 108 m w Chelmcach koło Kruszewicy, w pobliżu grzebienia solnego Gopła, w dokumentacji po odwierceniu studni oznaczono stężenie boru  $1,2 \text{ mg/dm}^3$ , strontu  $3,09 \text{ mg/dm}^3$ , magnezu  $30,9 \text{ mg/dm}^3$  i potasu  $6,3 \text{ mg/dm}^3$ .

Wzrost zawartości chlorków w wodzie zwykle następuje wraz z głębokością, co świadczy o dopływie wód słonych z głębszych partii mezozoiku (ryc. 3, 5, 6, 8). Jednocześnie w większości stref anomalii zaobserwowano współwystępowanie w niewielkiej odległości i na podobnej głębokości wód słodkich i słonych, o bardzo zróżnicowanych stężeniach jonu  $\text{Cl}^-$ . To oznacza, że wysokie stężenia chlorków wiążą się ściśle z bliską obecnością dróg ascencji wód słonych czyli uskoki i szczelinami w utworach mezozoiku, a następnie wartość stężenia chlorków się zmniejsza wskutek rozcieńczenia przez zwykłe wody infiltracyjne.

Dlatego tylko część populacji studni w wyznaczonych obszarach anomalii to studnie o podwyższonym stężeniu chlorków w wodzie, przekraczającym  $60 \text{ mg/dm}^3$ . W największej strefie Łęczycza–Żychlin, spośród 360 udokumentowanych (badaniami chemicznymi) na tym obszarze 117 (32%) to otwory o stężeniu chlorków wyższym niż  $60 \text{ mg/dm}^3$ , a 34 (9%) to otwory o stężeniu chlorków wyższym niż  $250 \text{ mg/dm}^3$ . Proporcje te w poszczególnych strefach są różne. Na przykład w strefie anomalii Szubina na 55 odwierconych studni dla 38 (69%) z nich oznaczono stężenie jonu  $\text{Cl}^- > 60 \text{ mg/dm}^3$ , a dla 18 (33%) studni –  $\text{Cl}^- > 250 \text{ mg/dm}^3$ , a w strefie Inowrocławia na 210 uwzględnionych otworów dla 76 (36%) z nich stężenie  $\text{Cl}^- > 60 \text{ mg/dm}^3$ , a dla 23 (11%) wartość  $\text{Cl}^- > 250 \text{ mg/dm}^3$ . Poza wyznaczonymi obszarami stref anomalii otwory

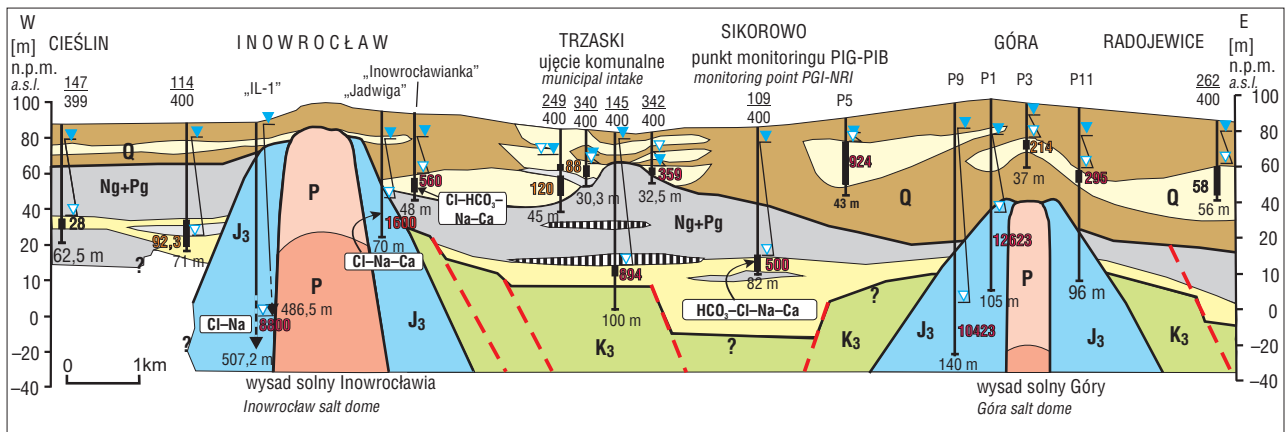
o stężeniu jonu  $\text{Cl}^- > 60 \text{ mg/dm}^3$  w wodzie występują zwykle w rozproszeniu.

Zróżnicowanie stężenia chlorków widać w rowie tektonicznym Krzepocina, wypełnionym osadami plejstocenu o miąższości ponad 300 m (ryc. 5). Na jego obrzeżeniu, w piętrze jurajskim, w Wilczkowicach, odnotowano zawartość chlorków  $781 \text{ mg/dm}^3$ . W obrębie rowu, tuż przy jego krawędzi, w wodach piaszczystego poziomu plejstoceńskiego na ujęciu w Krzepocinie oznaczone stężenie chlorków wyniosło  $66\text{--}213 \text{ mg Cl}^-/\text{dm}^3$  (ryc. 5, tab. 1), a w centralnej części rowu w studni w Karkosach, gdzie poziom



**Ryc. 7.** Mapa strefy anomalii chlorkowych Inowrocławia. Objasnienia jak na ryc. 2

**Fig. 7.** Map of the chloride anomalies zone in Inowrocław. Explanations as in Fig. 2



**Ryc. 8.** Przekrój hydrogeochemiczny D–D' przez strefę anomalii chlorkowych Inowrocławia. Objaśnienia jak na ryc. 3  
**Fig. 8.** Hydrogeochemical cross-section D–D' through the Inowrocław chloride anomalies zone. Explanations as in Fig. 3

plejstoceni jest już wylodzony, zaledwie 6 mg Cl/dm<sup>3</sup>. Zasolenie wód podziemnych w Łęczycy wymusiło umiejscowienie podstawowego ujęcia zaopatrującego to miasto i okoliczne wsie, w odległym o ponad 5 km Krzepocinie.

Ascenzyjny dopływ słonych wód „starszych” od wód współczesnych, do poziomów eksploatowanych na omawianych ujęciach, potwierdzają badania izotopowe. Na wykresie zależności izotopów tlenu ( $\delta^{18}\text{O}$ ) i wodoru ( $\delta^2\text{H}$ ) (ryc. 9) wyniki wszystkich oznaczeń znajdują się poniżej światowej linii opadów (World Mean Water Line – WMWL; Craig, 1961), co wskazuje na obecność domieszki wód o cięższych izotopach charakterystycznych dla solanek mezozoiku.

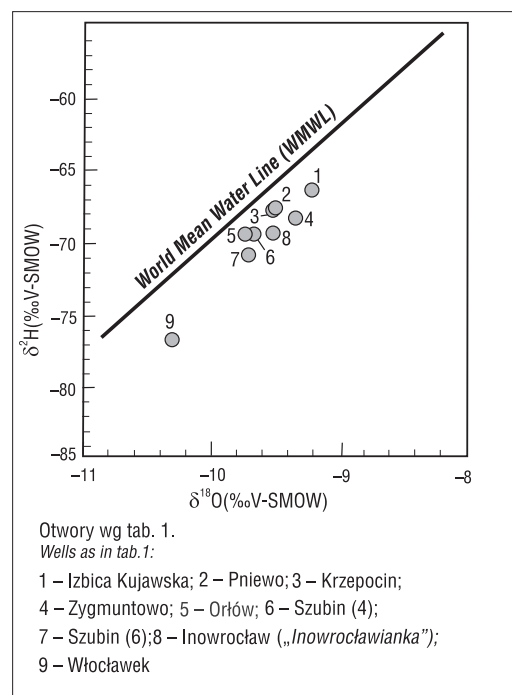
W badanym w 2013 r. ujęciu komunalnym w Szubinie (6 studni), oznaczenia tylko dla wód ze studni nr 4 i 6 wykazały wysokie stężenie chlorków (tab. 1), odpowiednio 510 i 540 mg/dm<sup>3</sup>, sodu 267 i 277 mg/dm<sup>3</sup> i jonu amonowego 0,66 i 0,87 mg/dm<sup>3</sup>, przy niskim stężeniu azotanów, odpowiednio 0,28 i 0,24 mg/dm<sup>3</sup> oraz siarczanów, 46,8 i 22,7 mg/dm<sup>3</sup>. Ze względu na przekroczenie dopuszczalnych stężeń chlorków, sodu i jonu amonowego, wodę z tych studni przed wprowadzeniem do sieci wodociągowej mieszano z wodami z innych studni o odpowiedniej jakości, w celu spełnienia obowiązujących norm. Wysokie stężenia chlorków w wodach studni 4 i 6 stwierdzono już podczas ich odwiercenia, a w trakcie eksploatacji ulegały one zmianom (ryc. 10). Spośród co najmniej 16 odwierconych od 1965 r. na tym ujęciu studni, aż w 9 studniach już na etapie dokumentowania oznaczono ponadnormatywne stężenia chlorków w wodzie, wynoszące od 260 do 1416 mg/dm<sup>3</sup>. W niektórych z pozostałych otworów ponadnormatywne stężenia jonu Cl<sup>-</sup> pojawiały się zwykle po kilku lub kilkunastu latach eksploatacji (ryc. 10).

Przykładem rozwoju geogenicznego zasolenia w efekcie eksploatacji wód jest też ujęcie w Trzaskach (ryc. 7, 8, 10), położone między wysadami solnymi Inowrocławia i Góry. Zbudowano go ok. 100 lat temu w oddaleniu od centrum Inowrocławia, leżącego nad wysadem solnym – już wtedy zasolenie studni utrudniało pozyskiwanie wody pitnej. Jakość wód poziomów neogenu i czwartorzędu ujęcia w Trzaskach pogorszyła się w trakcie wieloletniej eksploatacji, najprawdopodobniej wskutek wymuszenia dopływu

wód zasolonych z rejonu ługowanych pobliskich wysadów solnych. Wzrost stężenia chlorków w wodach do ponad 800 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 8, 10) spowodował w latach 90. XX w. likwidację studni ujmujących poziom neogenu. Obecnie tylko poziom czwartorzędowy jest ujmowany, a w eksploatujących go długotrwale studniach następuje wzrost stężenia chlorków do wartości ponadnormatywnych, co powoduje ich czasowe wyłączenie, do momentu poprawy jakości wody.

## WNIOSKI

Na podstawie danych hydrochemicznych wyznaczono strefy anomalii chlorkowych w wodach użytkowych mezozoiku i kenozoiku, odwzorowanych jako zgrupowania studni o stężeniu jonu Cl<sup>-</sup> > 60 mg/dm<sup>3</sup> (ryc. 1).



**Ryc. 9.** Wykres zależności  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  w zbadanych wodach podziemnych; WMWL (wg Craig, 1961)  
**Fig. 9.** Graph of dependency between  $\delta^2\text{H}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  in the analyzed waters WMWL (after Craig, 1961)

Próbując określić skalę zjawiska obniżenia jakości eksploatowanych wód podziemnych wskutek ascenzyjnego zasolenia, oszacowano, że spośród ok. 12 000 udokumentowanych otworów na analizowanym obszarze tylko ok. 300, czyli nieco mniej niż 3% to otwory o stężeniu jonu  $\text{Cl}^-$  przekraczającym normatywną wartość 250  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , obliczenia te są jednak oparte przede wszystkim na danych z okresu dokumentowania otworów, zwykle wiele lat temu.

Geneza i umiejscowienie anomalii chlorkowych są związane z elementami tektonicznymi permomezozoiku i zmiennością ich pokrywy kenozoicznej, czynnikami sprzyjającymi dopływem wód słonych mezozoiku do poziomów użytkowych.

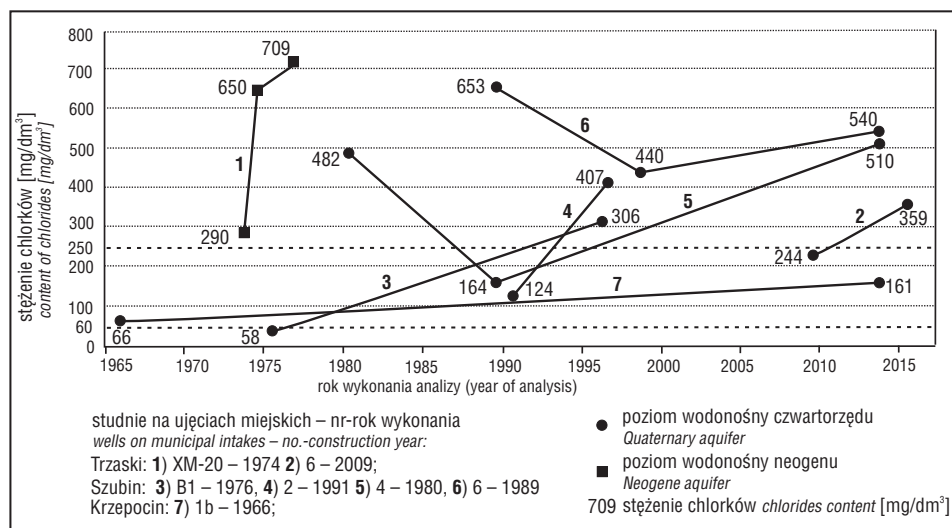
Strefy podwyższonych stężeń chlorków w wodach podziemnych często pokrywają się z samowypływami wód słonych, tworzącymi naturalne anomalie chlorkowe, których istnienie na powierzchni terenu udokumentowały badania botaniczne, gleboznawcze i archeologiczne.

Naturalne procesy migracji wód słonych mezozoiku ulegają przyspieszeniu w miejscach intensywnej i długotrwałej eksploatacji wód podziemnych, na ujęciach miejskich i przemysłowych, ulokowanych na obszarach o omówionym charakterystycznym wykształceniu budowy geologicznej. Prowadzi to do obniżenia jakości wód w miarę postępu eksploatacji, głównie wskutek ponadnormatywnego stężenia chlorków, sodu i jonu amonowego, jak na badanych ujęciach w Trzaskach (Inowrocław), Szubinie, Izbicy Kujawskiej, Krzepocinie (tab. 1). Nie we wszystkich wyznaczonych strefach anomalii chlorkowych występują tak wyraźne obniżenia jakości ujmowanych wód, jednak już sam fakt istnienia tych anomalii stanowi przesłankę wystąpienia takich problemów w przyszłości.

Autorka składa podziękowania anonimowemu Recenzentowi za cenne uwagi merytoryczne oraz Redakcji, za wskazówki pozwalające udoskonalić formę artykułu. Artykuł przedstawia wyniki tematu nr 61.8301.1301.00.0 wykonanego w PIG-PIB w latach 2013–2014, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## LITERATURA

- CRAIG H. 1961 – Isotopic variations in meteoric water. *Science*, 133: 1702–1703.  
 CZERWIŃSKI Z. 1996 – Zasolenie wód i gleb na terenie Kujaw. *Rocz. Gleb.* 47 (3/4): 131–143.  
 DADLEZ R. 1997 – Tektonika kompleksu permsko-mezozoicznego. [W:]



Ryc. 10. Wykres czasowej zmienności stężeń chlorków w wodach z wybranych ujęć  
 Fig. 10. Graph of the temporal variability of chlorides concentration in waters from selected intakes

- Marek S., Pajchłowa M. (red.), 1997 – Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 153: 410–413.  
 DADLEZ R. (red.) 2000 – Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1: 1 000 000. *Wyd. Kartog.*, Pol. Agen. Ekolog., Warszawa.  
 DOWGIAŁŁO J., NOWICKI Z. 1997 – Badania izotopowe wód podziemnych w utworach trzeciorzędowych regionu mazowieckiego – dotychczasowe wyniki i dalsze potrzeby. [W:] Dowgiałło J., Macioszczyk A. (red.), *Oligoceński zbiornik wód podziemnych regionu mazowieckiego*. PAN Warszawa: 104–117.  
 DOWGIAŁŁO J., KACZOR D., POROWSKI A. 2007 – Solanki termalne Niziny Polskiej w świetle nowych badań. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, XIII, Kraków-Krynica: 53–63.  
 GMURCZYK T. 1999 – Geneza wysokich stężeń jonów chlorkowych w wodach podziemnych rejonu Żychlina. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, IX, Kielce: 57–63.  
 GÓRSKI J. 2001 – Propozycja oceny antropogenicznego zanieczyszczenia wód podziemnych na podstawie wybranych wskaźników hydrochemicznych. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, X, Wrocław: 309–313.  
 GÓRSKI J., RASALA M. 2008 – Hydrogeologia wybranych wysadów słonych regionu kujawskiego – aspekty poznawcze i użytkowe. *Geologos*, 13 (5): 1–152.  
 GRUBE A., WICHMAN K., HAHN J., NACHTIGAL K.H. 2000 – Geogene Grundwasserversalzung in den Poren Grundwasserleitern Norddeutschland und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft. *Veröff. Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe*.  
 JODŁOWSKI A. 1977 – Badania archeologiczne nad początkami eksploatacji soli w Polsce środkowej. *Sprawozd. Archeolog.*, 29: 179–187.  
 KACZOR D. 2005 – Zasolenie wód podziemnych kenozoiku Polski północno-zachodniej w wyniku ascenzyj solanek z mezozoiku. *Prz. Geol.*, 53: 489–798.  
 KACZOR-KURZAWA D. 2014 – The salinization of useful Cenozoic aquifers by ascending Mesozoic brines – characterization on the basis of hydrochemical data from northern and central Poland. [W:] *Proceedings*, 23 SWIM, Husum: 200–203.  
 KRAWIEC A. 2013 – Pochodzenie anomalii chlorkowych w wodach podziemnych polskiego wybrzeża Bałtyku. [Rozpr. hab.]. *Wyd. Nauk. UMK*.  
 MACIOSZCZYK A. 1980 – Regionalna strefowość hydrogeologiczna niecki mazowieckiej. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, I, Jachranka: 204–212.  
 MACIOSZCZYK A. 1991 – Początkowe stadia antropogenicznych przekształceń chemizmu wód podziemnych – ich ocena i interpretacja. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*, V, Warszawa-Jachranka: 254–258.  
 WITCZAK S., KANIA J., KMIĘCIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników wód podziemnych i metod ich oznaczania. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa.