

## GENEZA I ROZPRZESTRZENIENIE WÓD Z WYSOKĄ ZAWARTOŚCIĄ FLUORU W GZWP NR 338 PACZKÓW–NIEMODLIN

### ORIGIN AND DISTRIBUTION OF HIGH FLUORIDE CONTENT WATER IN THE MGWB No 338 PACZKÓW–NIEMODLIN

LIDIA RAZOWSKA-JAWOREK<sup>1</sup>, JOANNA CUDAK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Stężenie fluoru w wodach pitnych jest obiektem zainteresowania wielu ośrodków badawczych na świecie, ponieważ szkodliwy dla ludzi jest nie tylko jego niedobór (poniżej 0,8 mg/l), powodujący próchnicę zębów, ale również nadmiar (powyżej 1,5 mg/l), który może przyczyniać się do rozwoju fluorozji i osteoporozy. W Oddziale Górnośląskim PIG prowadzono badania dotyczące rozprzestrzenienia anomalii fluorowej w wodach neogeńskiego piętra wodonośnego w GZWP nr 338 Paczków–Niemodlin. Zawartość fluoru w wodach podziemnych w tym rejonie jest wysoka i sięga od 6 do 11,5 mg/l, przekraczając wartości dopuszczalne dla wód pitnych około 10 razy. Największa anomalia występuje w rejonie Nysy. Badania potwierdziły wzrost zawartości fluoru wraz ze spadkiem rzędnej stropu poziomów wodonośnych. Najwyższe stężenia tego pierwiastka stwierdzono w poziomach zlokalizowanych na rzędnych 30–80 m n.p.m.

**Słowa kluczowe:** wody podziemne, fluor, skład chemiczny wód, fluorozja, neogen.

**Abstract.** The problem of fluoride in drinking water is currently the subject of study of many research centres in the world, because not only deficit of fluorine (below 0.8 mg/l), which causes teeth caries, but also its excess (above 1.5 mg/l), which may cause fluorosis and osteoporosis, are harmful to human being. A hydrogeochemical study conducted in the Upper Silesian Branch of the PGI lead to detailed recognition of hydrogeological and chemical conditions as well as the extent of fluoride anomaly in Neogene aquifer water in the Paczków–Niemodlin basin. The fluoride content in groundwater of the basin is high and ranges from 6.0 to 11.5 mg/l, exceeding about 10 times the permissible values for drinking water. The highest concentrations of fluoride are observed in the Nysa region. The investigations confirmed the increase of fluoride content with decreasing altitude of the aquifer top. The highest concentrations are found in the aquifer whose top is situated at 30–80 m a.s.l.

**Key words:** groundwater, fluoride, chemical composition, fluorosis, Neogene.

### WSTĘP

Badania nad rozprzestrzenianiem się i przyczynami występowania fluoru w wodach podziemnych zostały uznane za priorytetowe przez Światowe Forum Wodne w Kioto w 2000 r. Obecność fluoru w stężeniach przekraczających wartości dopuszczalne dla wód pitnych jest problemem

w wielu krajach na świecie, szczególnie w Indiach (Handa, 1975), Argentynie (Ainchil, 2003), Meksyku i Chinach oraz w wielu krajach Afryki, np. Mozambiku, Ugandzie, Kenii czy Tanzanii (Gaciri, Davies, 1993). W Europie najczęściej mamy do czynienia z niedoborem fluoru w wodach pitnych,

---

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, ul. Królowej Jadwigi 1 41-200 Sosnowiec; lidia.razowska-jaworek@pgi.gov.pl

ale w krajach skandynawskich, w poziomach wodonośnych w granitach rapakiwi, stwierdzono również jego nadmiar (Liponkoski, 1999).

Fluor przechodzi do wód podziemnych wskutek wietrzenia minerałów fluoronośnych, w tym apatytów, biotytów, hornblendy czy turmalinów. Jego rozpuszczalność zależy od zawartości wapnia, z którym tworzy rozpuszczalne sole. Zawartość fluoru w wodach podziemnych wynosi średnio od 0,1 do 0,2 mg/l i zwykle nie przekracza 1 mg/l.

Główny Zbiornik Wód Podziemnych GZWP nr 338 – Paczków–Niemodlin o powierzchni około 740 km<sup>2</sup> znajduje się w południowej części województwa opolskiego. Rejon ten jest obszarem o charakterze rolniczym. Głównym ośrodkiem miejsko-przemysłowym jest Nysa. Piętro wodonośne neogenu w tym rejonie jest eksploatowane przez kilkadziesiąt ujęć głębinowych zaopatrujących w wodę przemysł i gospodarkę komunalną okolic.

## METODYKA BADAŃ

W celu rozpoznania warunków występowania i pochodzenia fluoru w badanym rejonie wykonano pełny zakres rutynowych badań polowych i fizykochemicznych wód wraz z ich interpretacją oraz analizą materiałów publikowanych i archiwalnych geologicznych i hydrogeologicznych (Razowska-Jaworek, Cudak, 2007). Badania terenowe obejmowały: kartowanie hydrogeologiczne, pobór próbek wód podziemnych oraz terenowe oznaczenia składników i cech fizykochemicznych wód. Analizy składu chemicznego wód wykonywane były w Centralnym Laboratorium Chemicznym

PIG w Warszawie. Zawartości anionów:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  i F oznaczano metodą chromatografii jonowej, natomiast kationy za pomocą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej – ICP. Oszacowane wartości błędu analizy wynoszą od 0,16 do 8,87%, przy średniej wartości błędu 3,42%, i uznano je za wiarygodne. Interpretacja i analiza wyników badań zostały wykonane z zastosowaniem programów komputerowych, w tym m.in.: STATISTICA, AQUA CHEM, WATEQ4F i SURFER.

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Badany obszar znajduje się we wschodniej części bloku przedsudeckiego, zbudowanego z proterozoicznych i staropaleozoicznych skał metamorficznych oraz młodopaleozoicznych granitoidów przykrytych osadami neogenu i czwartorzędu. Zachodnia część obszaru leży w strefie kontaktu dwóch jednostek tektonicznych: monokliny przedsudeckiej i bloku przedsudeckiego (Badura, Przybylski, 2000). Południową granicę monokliny przedsudeckiej wyznacza linia NW–SE, przebiegająca skośnie przez północno-wschodnią część obszaru. Jest to strefa uskoków środkowej Odry. W południowo-zachodniej części obszaru utwory metamorficzne (gnejsy) oraz granitoidy występują na powierzchni. Utwory neogenu występują prawie na całym badanym obszarze. Odslaniają się w wielu miejscach w pobliżu wychodni skał krystalicznych oraz w krawędziach erozyjnych podcięć tarasowych lub stanowią powierzchnię tarasów erozyjnych. Maksymalna miąższość utworów neogeńskich nie jest znana, może ona wahać się w granicach 250–450 m (Dyjur i in., 1978).

Występowanie wód w utworach neogeńskich jest związane z seriami piasków, głównie drobnoziarnistych, w obrębie ilów serii poznańskiej, a także z ławicami grubo- i średnioziarnistych piasków lub żwirów, często zailonnych (seria Gozdnicy). Wody w utworach neogenu występują na całym badanym terenie, na głębokości od kilku do ponad 130 m (Różycki, Kleczkowski, 1974). Miąższości warstw wodonośnych wahają się od kilku do 50 m. Osady piaszczyste

często tworzą liczne przewarstwienia w utworach ilastych. W kilku otworach nawiercono nawet 5–7 warstw wodonośnych, ale w rejonie badań, za Koślacem (1989), autorki wydzieliły 5 poziomów wodonośnych o większym rozprzestrzenieniu. Generalny kierunek przepływu wód piętra neogeńskiego następuje z południowego zachodu na północny wschód, ku dolinie Odry. Zasilanie odbywa się poprzez nadległy kompleks glin i ilów oraz w miejscach kontaktu warstw neogeńskich z czwartorzędowymi lub bezpośrednio z powierzchni na wychodniach warstw neogeńskich.

Zwierciadło wody nawiercono na głębokości od 11 do 160 m, a statyczny poziom ustalił się kilka metrów ponad terenem (samowypływy). Z całego kompleksu neogenu najbardziej wodonośne są poziomy III i IV, z których uzyskuje się wydajności niekiedy ponad 70 m<sup>3</sup>/h, przy niewielkich depresjach. Spadki hydrauliczne są bardzo małe, co jest przyczyną bardzo długiego czasu wymiany wód, od kilku do kilkudziesięciu lat w płytkich strefach w rejonie wychodni, a nawet do tysięcy lat w głębszych partiach warstwy wodonośnej.

W badanym rejonie znajduje się około 160 studni, których dane zostały przeanalizowane. Ponad 34 ujęcia stale eksploatują wodę. Pozostałe ujęcia są nieczynne ze względu na likwidację zakładów przemysłowych oraz z powodu zanieczyszczenia wód związkami fluoru. Duże ujęcia skupione są w rejonie Nysy, Otmuchowa, Paczkowa Skoroszyc, Korfantowa i Niemodlina.

## WYNIKI BADAŃ

W nawiązaniu do podziału na poziomy wodonośne, na podstawie rzędnych stropu warstw wodonośnych w utworach neogeńskich, w badanym zbiorniku wytypowano 5 poziomów hydrogeochemicznych (tab. 1). Podziału tego dokonano w zależności od składu chemicznego wód i przypuszczalnego okresu przebywania wód w warstwie wodonośnej.

Stężenia jonów w wodach piętra neogenu w obrębie największej anomalii fluorowej, czyli w poziomach IV i V, są wyższe niż w strefie wód infiltracyjnych, tj. w poziomie I i częściowo II. Również typy chemiczne wód są różne, w poziomach I i II są to wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$  lub  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , w poziomie III  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ , a w IV  $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$  i  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ .

Rozkład przestrzenny zawartości fluoru zilustrowano na figurze 1. Najwyższe stężenia fluoru (ponad 3 mg/l) występują w rejonie Nysy oraz w okolicach Otmuchowa. W pasie na północ od Nysy, wzdłuż uskoku przecinającego blok Pakosławic, występują również anomalie fluorowe, ale mniejsze, od 0,6 do 2,7 mg/l. Na pozostałym obszarze zbiornika Paczków–Niemodlin stężenia fluoru są niskie (poniżej 0,1 mg/l).

Badania potwierdziły wzrost zawartości fluoru wraz ze zmniejszaniem się rzędnej stropu poziomu wodonośnego

(fig. 2, 3). Współczynnik korelacji zawartości fluoru z głębokością wynosi 0,69, natomiast z rzędną stropu – 0,77. Na rzędnych ponad 110 m n.p.m. stężenia fluoru są bliskie granicy oznaczalności (0,10 mg/l), a od rzędnej 100 m nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla wód pitnych (1,5 mg/l). Jest to związane z dopływem wód infiltracyjnych, ubogich w fluor. Najwyższe stężenia występują w wodach na rzędnych 30–80 m n.p.m. i głębokości 130–180 m (poziom III i IV), wynosząc maksymalnie 11,5 mg/l (Koślacz, 1989). Na rzędnych poniżej 20 m n.p.m. stężenia fluoru są nieco niższe, co jest spowodowane występowaniem skał węglanowych w spągu poziomu V (Razowska-Jaworek, Cudak, 2007).

Jon fluoru ( $\text{F}^-$ ) wykazuje dużą korelację z jonem sodowym ( $\text{Na}^+$ ), współczynnik korelacji wynosi 0,89. Jest to prawdopodobnie związane z warunkami krążenia wód podziemnych w obrębie tektonicznego rowu Paczkowa. Współczynnik korelacji jonu fluoru z jonem wapniowym wynosi –0,28, co oznacza, że ze wzrostem zawartości wapnia zawartość fluoru maleje. W badanych wodach nie stwierdzono zależności zawartości fluoru od mineralizacji tych wód (współczynnik korelacji wynosi 0,11).

Do 1997 r. sieć wodociągowa w Nysie była zasilana z dwóch źródeł: ujęcia powierzchniowego na Nysie Kłodz-

Tabela 1

Wybrane składniki wód podziemnych neogeńskiego piętra wodonośnego  
Selected ion concentrations in the Neogene aquifers

Składnik/Parametr	pH	F	Mineralizacja	$\text{HCO}_3$	$\text{SO}_4$	Cl	$\text{SiO}_2$	Ca	Mg	Na	K	Fe
		mg/l										
Poziom I (strop >180 m n.p.m.)												
Średnia	6,9	0,15	244	116,3	30,4	14,5	24,9	35,9	5,4	15,8	1,7	1,9
Maksimum	7,4	0,35	356	183	50	42,5	35,1	78,1	8,3	40,1	2,1	5
Minimum	5,9	0,07	161	67	5,0	3,0	17,3	13,7	1,2	6,1	1,0	0
Poziom II (strop 180–130 m n.p.m.)												
Średnia	7,0	0,92	296	182,8	19,6	14,0	22,2	37,7	8,4	22,1	2,0	2,8
Maksimum	7,9	3,5	505	363,0	70	53,2	52,3	91,5	19	49,7	3,0	23
Minimum	6,2	0,06	114	4,3	1,0	1,0	10,0	7,5	1,2	4,3	1,0	0,2
Poziom III (strop 125–100 m n.p.m.)												
Średnia	7,4	0,42	419	296,3	4,3	2,0	20,6	54,4	14,5	21,8	1,8	2,2
Maksimum	7,9	0,98	501	355	5,0	2,0	23,6	80,2	19,1	32,1	2,3	4,5
Minimum	7,1	0,14	306	214	3,0	2,0	16,4	31,1	6,2	10,7	1,0	0,3
Poziom IV (strop 80–30 m n.p.m.)												
Średnia	7,8	5,59	315	113,4	7,5	75,7	20,7	21,1	3,29	65,5	1,5	0,5
Maksimum	8,7	8,56	401	214	11,0	110	28,2	27,6	4,6	83,3	2,0	0,7
Minimum	7,4	2,69	181	44	1,0	42	0,9	5,0	0,74	50,8	1,0	0,01
Poziom V (strop <20– –20 m n.p.m.)												
b.d. – brak danych												
Otwór 42	b.d.	3,43	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		31,0	7,0	b.d.	b.d.	b.d.
Otwór 50	6,8	6,00	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	7,0	b.d.	b.d.	b.d.

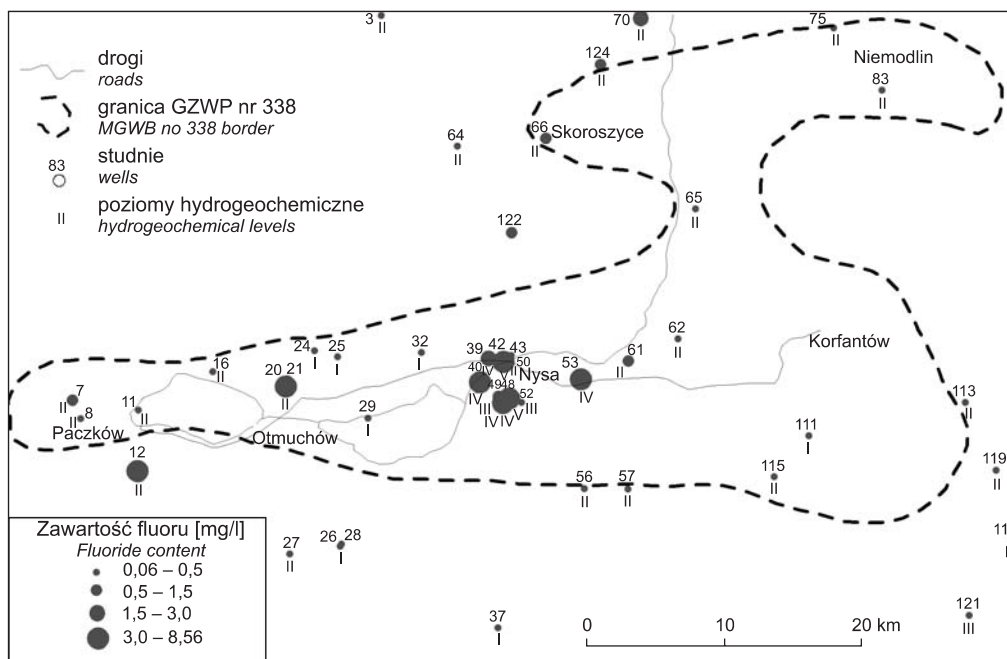


Fig. 1. Występowanie fluoru w wodach GZWP nr 338

Distribution of fluoride in water of MGWB no 338

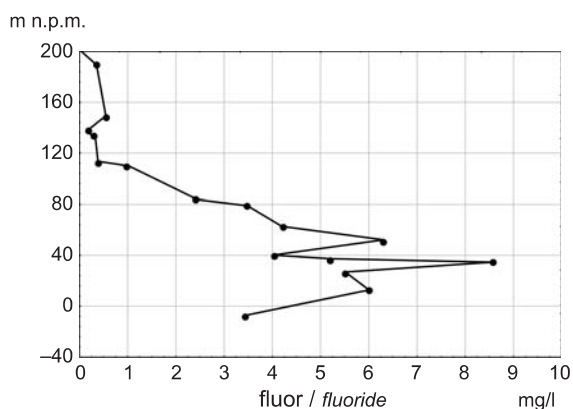


Fig. 2. Zależność zawartości fluoru od rzędnej stropu poziomu wodonośnego

Fluoride content versus altitude of the aquifer top

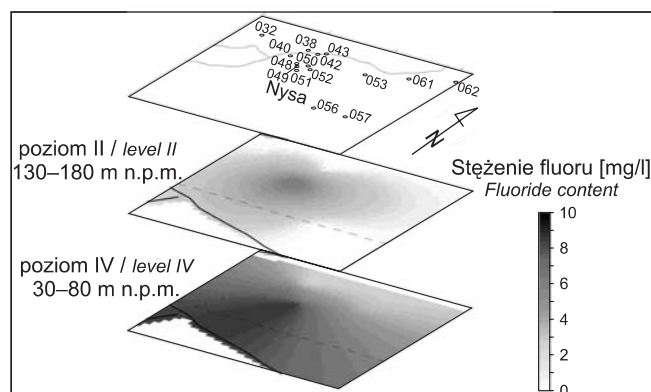


Fig. 3. Anomalie fluorowe w poziomach wodonośnych neogenu w rejonie Nysy

Fluoride anomalies in the Neogene aquifers of the Nysa region

kiej oraz ze studni ujmujących wody piętra neogeńskiego. W tym czasie przeprowadzono badania skutków wieloletniego użytkowania wód bogatych we fluor u mieszkańców dzielnic Nysy zaopatrywanych w wodę ze studni neogeńskich. U mieszkańców tych występują w wysokim nasileniu takie schorzenia, jak fluoroza i osteoporoza. W latach 1992–1993 przeprowadzono również szczegółowe badania zachorowalności dzieci w wieku 7–15 lat na fluorozę w ośmiu szkołach podstawowych, zlokalizowanych w rejonach użytkowania wód ze studni neogeńskich w Nysie (Martynowicz, 2000). Wskutek korzystania z wód o podwyższonej zawartości fluo-

ru zaobserwowano u dzieci przewlekłe zatrucia związkami fluoru, objawiające się głównie uszkodzeniem szkliwa zębów, czyli fluorozę. Najniższy procent uczniów z fluorozą stwierdzono w szkole, gdzie większość mieszkańców korzystała z ujęcia wody powierzchniowej, a tylko część z ujęć z wodami o zawartości fluoru do 5 mg/l. W szkołach, gdzie prawie wszyscy mieszkańcy korzystali z ujęć neogeńskich o zawartości fluoru 5–7 mg/l, procent uczniów z fluorozą był najwyższy (47,5–56,6%). Widać tutaj jednoznacznie zależność zachorowalności dzieci na fluorozę od rodzaju użytkowanej wody pitnej i zawartości w niej fluoru.

## PODSUMOWANIE

W rejonie zbiornika GZWP nr 338 Paczków–Niemodlin zawartości fluoru w wodach podziemnych są wysokie i wynoszą maksymalnie od 6,0 do 11,5 mg/l, przekraczając nawet 10-krotnie wartości dopuszczalne dla wód pitnych. Najwyższe stężenia fluoru występują w rejonie Nysy. Badania potwierdziły zjawisko wzrostu zawartości fluoru wraz ze zmniejszaniem się rzędnej stropu poziomu wodonośnego. Najwyższe stężenia fluoru występują w wodach poziomu zalegającego na rzędnych 30–80 m n.p.m.

Poza wodami mineralnymi i termalnymi zawartości fluoru w wodach podziemnych w Sudetach są mniejsze od 0,6 mg/l. Mroczkowska (1978) uznała, że już zawartości fluoru od 0,2–0,4 mg/l są wartościami anomalnymi, chociaż są to o wiele niższe stężenia niż występujące w rejonie Nysy. W wodach termalnych Łądka-Zdroju i Cieplic Śląskich-Zdroju zawartości fluoru wynoszą 9,0–11,5 mg/l. Skład chemiczny tych wód jest podobny do składu wód z poziomu IV (pH, Na, Ca, Mg i HCO<sub>3</sub>), co może oznaczać podobne źródło pochodzenia, czyli kontakt wód z granitami, gnejsami i wylewami bazaltowymi, oraz długi czas ich przebywania w górotworze. Jedynie temperatura tych wód jest

wyższa, co spowodowane jest pochodzeniem z głębszych partii górotworu.

Najbardziej prawdopodobną przyczyną wysokich zawartości fluoru w wodach w rejonie zbiornika Paczków–Niemodlin jest ich długotrwały kontakt z prekambryjskimi i paleozoicznymi skałami magmowymi i metamorficznymi, zawierającymi minerały bogate w fluor. Lokalizacja anomalii fluorowych w pobliżu dużych stref uskokowych, które mogą być uprzywilejowanymi drogami krążenia wód z głębokich partii Sudetów wzbogaconych w fluor, spowodowała dopływ tych wód do poziomów neogeńskich.

W rejonie Nysy zaobserwowano zależność zachorowalności dzieci na fluorozę od rodzaju użytkowanej wody pitnej i zawartości w niej fluoru. Im wyższa była zawartość fluoru w wodzie pitnej, tym większa zachorowalność dzieci na fluorozę.

Wyniki przeprowadzonych badań powinny być uwzględniane przy szacowaniu zasobów wód podziemnych oraz ocenie zagrożeń i możliwości wykorzystania wód pięt neogenu w tym rejonie.

## LITERATURA

- AINCHIL K., 2003 – Fluoride variations in groundwater of an area in Buenos Aires Province, Argentina. *Environ. Geol.*, **44**: 86–89.
- BADURA J., PRZYBYLSKI B., 2000 – Mapa geotektoniczna Dolnego Śląska. CAG Państw. Inst. Geol., Oddz. Wrocław.
- DYJOR S., DENDEWICZ A., GRODZICKI A., SADOWSKA A., 1978 – Neogeńska i staroplejstocenska sedimentacja w obrębie stref zapadliskowych rowów Paczkowa i Kędzierzyna. *Geol. Sudetica*, **13**, 1.
- GACIRI S., DAVIES T.C., 1993 – The occurrence and geochemistry of fluoride in some natural water of Kenya. *J. Hydrol.*, **143**: 395–412.
- HANDA B.K., 1975 – Geochemistry and genesis of fluoride contains groundwater in India. *Ground Water*, **13**: 275–281.
- KOŚLACZ R., 1989 – Fluor w neogeńskich poziomach wodonośnych rejonu Nysy. *W: Ochrona i zanieczyszczenie wód podziemnych*: 209–216. VI Polsko-Czechosłowackie Symp. Darłówek.
- LIPONKOSKI M., 1999 – Fluori ja sen poistaminen talousvedestä. Suomen ympäristö 320, luonto ja luonnonvarat. English abstract: Fluoride and its removal from potable water.
- MARTYNOWICZ K., 2000 – Wpływ długookresowego spożywania wody pitnej z nadmiarem fluoru na częstość występowania fluorozy. Praca dyplomowa. Arch. Wodociągów, Nysa.
- MROZKOWSKA B., 1978 – Występowanie fluoru w wodach sudeckich. CAG Państw. Inst. Geol., Oddz. Dolnośląski, Wrocław.
- RAZOWSKA-JAWOREK L., CUDAK J., 2007 – Występowanie fluoru w wodach podziemnych w zbiorniku Paczków–Niemodlin – GZWP 338. CAG Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RÓŻYCKI M., KLECZKOWSKI A.S., 1974 – Wody podziemne w rejonie opolskim. *Przew. XLVI Zjazdu Pol. Tow. Geol.*: 116–130. Wyd. Geol., Warszawa.

## SUMMARY

In order to recognize the spatial distribution and the origin of fluoride in groundwater of the Paczkow–Niemodlin basin, a full range of field measurements (chemical and water table) and sampling was performed, followed by chemical analyses. Then, the geology, tectonics and hydrogeological conditions of this area were studied based on the existing

data and field measurements. Detailed geological, hydrogeological and hydrochemical maps and cross sections have been produced. The study enabled distinguishing of five water levels in the Neogene aquifer. These levels have different chemical compositions. The first and the second levels provide fresh water. The highest fluoride concentration, ranging

from 2.7 to 8.56 mg/l, is recorded in the 4<sup>th</sup> level of the Nysa region. The fluoride concentration in this area is presented in the map and charts. Before 1997, the Neogene aquifer was the main source of drinking water for Nysa town and the surrounding area, but due to the high fluoride content, the water supplies abstracting the Neogene aquifer water were closed. High fluoride content in drinking water from this aquifer caused fluorosis disease in the population of Nysa.

Fluoride in this region originates from a long-time contact of the water with Precambrian and Palaeozoic igneous and metamorphic rocks composed of fluorine-rich minerals. The fluoride anomalies are located near fault zones, which were the preferential water flow paths from the deep parts of the Sudety Mts enriched in fluorine.