



ARTYKUŁY NAUKOWE

Fluor w wodach podziemnych i powierzchniowych
w okolicy Skawiny k. KrakowaMarek Górnik¹Fluorine in groundwater and surface water in the Skawina region near Kraków. *Prz. Geol.*, 63: 397–403.

Abstract. The paper presents the examination of fluorine concentration in groundwater and surface water in the Skawina region, including the determination of the influence of a former aluminum smelter plant on the concentration. Although the Skawina aluminum smelter emitted the largest amounts of fluorine-containing dust and gases in 1954–1981, the persistent low concentration of fluorine in groundwater was found during the present examinations. The results from 2011 are similar to those conducted in the 1970s and 1980s. In a water reservoir located below the closed landfill, high fluorine concentrations were recorded (103.69 mg/dm^3), which means that fluorine has been eluted out of the landfill.

Keywords: fluorine, Skawina aluminum smelter, groundwater and surface water

Fluor jest pierwiastkiem powszechnie występującym na Ziemi, lecz jego stężenie jest na ogół niewielkie (Maciaszczyk & Dobrzyński, 2002). Rozwój przemysłu, a w szczególności hutnictwa aluminium i przemysłu chemicznego, spowodował wzrost ilości związków fluoru dostarczanych do środowiska, co lokalnie powoduje wzrost stężenia fluoru w wodzie (Chełmicki, 2001). Praca ta ma na celu określenie wpływu jaki wywarła dawna Huta Aluminium (1954–1981) oraz powstałe po jej zamknięciu Zakłady Metalurgiczne „Skawina” (1981–2001) na stężenie fluoru w wodach powierzchniowych i podziemnych.

Cel ten starano się osiągnąć, porównując wyniki badań przeprowadzonych w 2011 r. z wynikami badań prowadzonych wcześniej m.in. przez Pietrasa i in. (1985a, b) i Rajpolta (2010).

OBSZAR BADAŃ

Obszar badań obejmuje tereny znajdujące się w otoczeniu dawnej Huty Aluminium „Skawina” (Skawina, zachodnie obrzeża Krakowa oraz okoliczne miejscowości). Granicę północno-zachodnią stanowi koryto Wisły (ryc. 1). Wyznaczony obszar nawiązuje do wcześniejszych badań nad zawartością fluoru w wodach podziemnych prowadzonych przez Pietrasa i in. (1985a, b). Według podziału fizjograficznego Polski, większość obszaru jest położona w obrębie Rowu Skawińskiego i Pogórza Wielickiego, tylko niewielki fragment należy do mezoregionu Pomost Krakowski (Kondracki, 1998).

Rzeźba badanego obszaru jest zróżnicowana. Na południu znajduje się Pogórze Wielickie z płaskimi grzbiecami (300–400 m n.p.m.), rozdzielonymi szerokimi dolinami. W kierunku północnym przechodzi w pas sfałdowanych utworów mioceńskich (do 300 m n.p.m.) zaliczanych do przedgórz karpackiego. Poniżej jest dolina Wisły z różnowiekowymi tarasami (200–220 m n.p.m.)

oraz licznymi starorzeczami. Północno-wschodnia część to wychodnie wapieni jurajskich, które wznoszą się ponad dno doliny na wysokość od 50 do 150 m (Starkel, 1991).

W 1939 r. podjęto decyzję o budowie Huty Aluminium w Skawinie, niestety wybuch II wojny światowej przerwał prace, do których powrócono po jej zakończeniu. Huta Aluminium „Skawina” rozpoczęła działalność 20 lipca 1954 r. Wykorzystując metodę elektrolizy pozyskiwano tam aluminium z boksytu. W 1981 r. po fali społecznych protestów wydział elektrolizy zamknięto, a huta zmieniła nazwę na Zakłady Metalurgiczne „Skawina” S.A. W 2001 r. po przejęciu firmy przez Hutę „Konin” S.A. powstała spółka Nowoczesne Produkty Aluminiowe Skawina S.A.

W wyniku działalności Huty Aluminium w „Skawinie” w latach 1954–1981 co roku do atmosfery emitowano od 700 do 2000 t fluoru (Pietras i in., 1985a). Dodatkowo na pobliskim składowisku aż do 1998 r. deponowano odpady powstałe podczas produkcji aluminium. Część odpadów została zużyta w latach 60. i 70. XX w. do utwardzenia pobliskich dróg (Pietras i in., 1985b).

CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

Badany obszar ma skomplikowaną budowę geologiczną i tektonikę, co wpływa na duże zróżnicowanie warunków hydrogeologicznych. Występują tu trzy poziomy wodonosne: czwartorzędowy związany z dnami dużych dolin rzecznych, kredowo-trzeciorzędowy (fliszowy) i górnourajski (Chowaniec & Witek, 1997). Na pozostałym obszarze występują niewielkie zasoby wodne.

Pomimo istnienia różnych poziomów wodonosnych na tym obszarze, wody w aktywnej strefie wymiany charakteryzują się podobnym składem chemicznym oraz mineralizacją – typ hydrochemiczny $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ (Kleczkowski, 1991). Jest to spowodowane krótkim czasem krążenia wody w skale oraz zasilaniem poziomów

¹ Zakład Hydrologii, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; marek.gornik@uj.edu.pl.



Ryc. 1. Obszar badań
Fig. 1. The study area

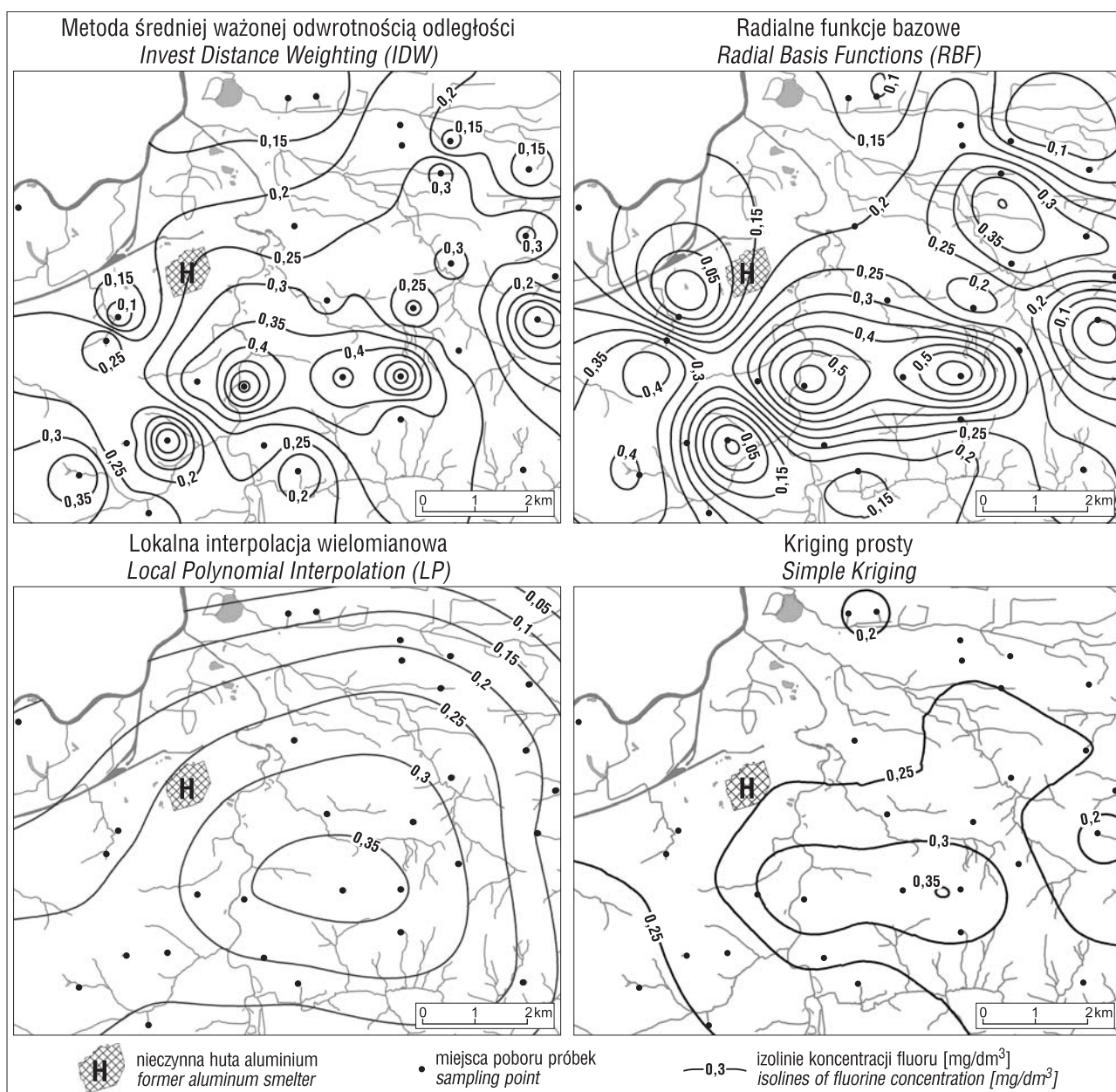
wodonośnych głównie przez wody opadowe. Są to wody w większości należące do poziomu czwartorzędowego, lub mające bezpośredni kontakt z tym poziomem. Charakterystyczne są lokalne anomalie hydrogeochemiczne. Wiąże się to z występowaniem utworów podatnych na ługowanie (gipsy, anhydryty, sól kamienna), dopływem wód ze strefy głębokiego krążenia oraz antropopresją (Maciaszczyk & Dobrzyński, 2002). Wody wgłębne oraz te, które mają kontakt z osadami mioceniowymi charakteryzują się typem $Cl-SO_4-Na$, $SO_4-HCO_3-Cl-Ca-Na$ (Kleczkowski, 1991).

Przeptyw wód w obrębie analizowanego obszaru odbywa się zgodnie z morfologią terenu, tzn. w kierunku dolin rzecznych. Strefą drenażu dla wód podziemnych jest dolina Wisły. Współczynnik filtracji jest największy w dolinie Wisły oraz Skawinki i wynosi średnio 38,2 m/24h (Chowaniec & Witek, 1997).

METODY BADAŃ

W ramach prac terenowych pobrano 34 próbki wody: 21 próbek pochodziło z użytkowanych studni gospodarskich, 9 – ze źródeł, 3 – ze stawów i 1 – z drenu melioracyjnego. Próbkę wody ze studni, drenu i źródeł nr 2 i 9 pochodziły z piętra czwartorzędowego, te ze źródeł nr 1, 7 i 8 pochodzą z piętra jurajskiego, a z pozostałych źródeł (nr 3, 4, 5, 6) z piętra kredowo-trzeciorzędowego. Miejsce poboru starano się dobrać w taki sposób, aby równomiernie objąć cały obszar badań. Próbkę pobierano do pojemników polietylenowych o pojemności 500 ml, zgodnie z zaleceniami dotyczącymi poboru podanymi przez Państwowy Inspektorat Ochrony Środowiska (Witeczak i in., 2013).

Próbki wody poddano analizie w laboratorium hydrochemicznym Zakładu Hydrologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego,

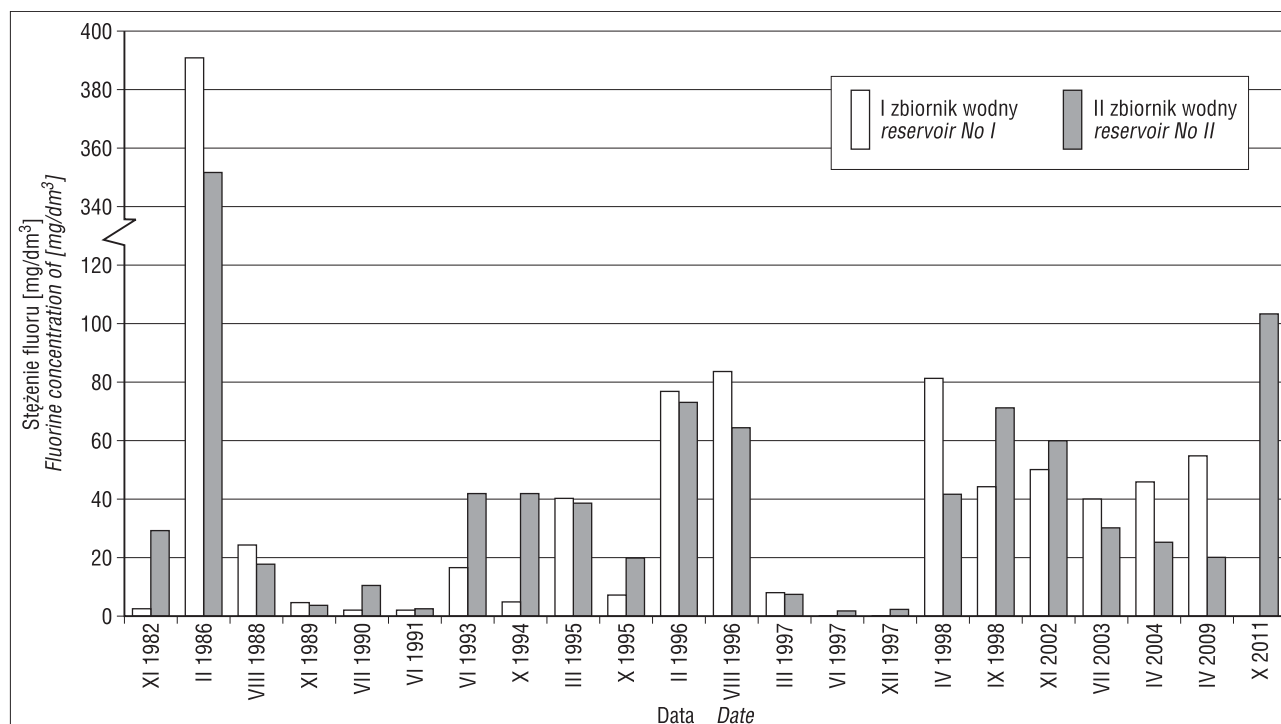


Ryc. 2. Rozkład przestrzenny fluorku w wodach podziemnych w okolicy Skawiny w 2011 r.
Fig. 2. The spatial distribution of fluorine in groundwater near Skawina in 2011

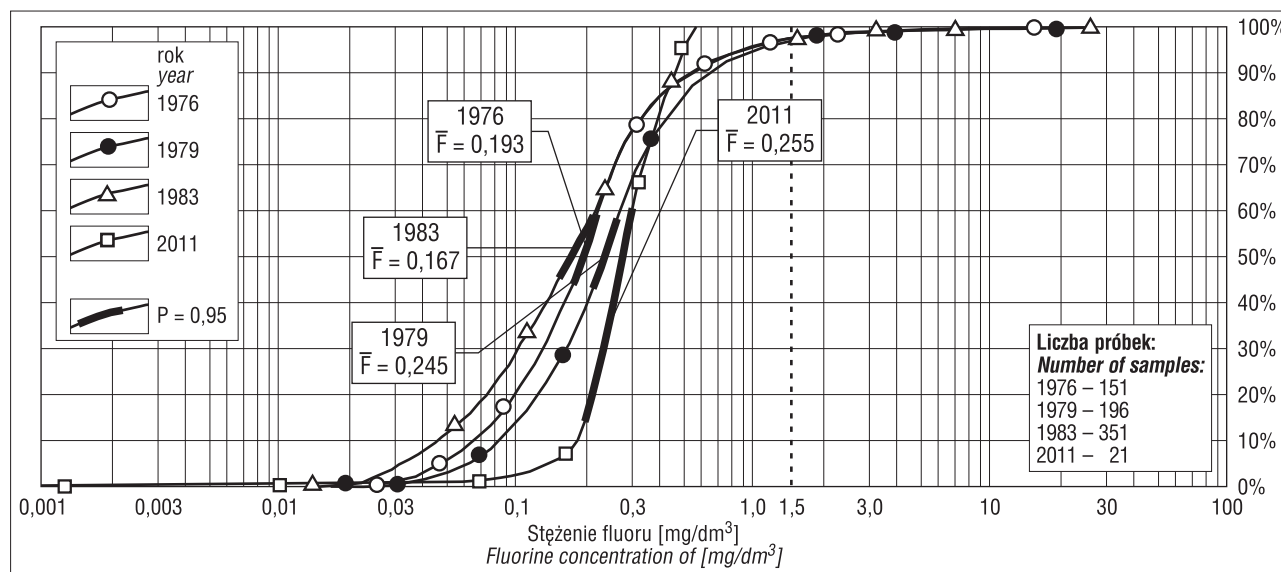
Tab. 1. Stężenie fluorku w badanych wodach w 2011 r.
Table 1. The concentration of fluorine in waters investigated in 2011

nr próbki sample number	F ⁻ [mg/dm ³]	nr próbki sample number	F ⁻ [mg/dm ³]	nr próbki sample number	F ⁻ [mg/dm ³]	nr próbki sample number	F ⁻ [mg/dm ³]
st. 1	0,24	st. 10	0,31	st. 19	0,40	źr. 6	0,27
st. 2	0,24	st. 11	0,46	st. 20	0,06	źr. 7	0,13
st. 3	0,12	st. 12	0,29	st. 21	0,18	źr. 8	0,10
st. 4	0,23	st. 13	0,20	dr. 1	0,33	źr. 9	0,30
st. 5	0,32	st. 14	0,56	źr. 1	5,75	zb. 1	103,69
st. 6	0,13	st. 15	0,26	źr. 2	0,31	zb. 2	6,77
st. 7	0,19	st. 16	0,21	źr. 3	0,57	zb. 3	0,45
st. 8	0,29	st. 17	0,38	źr. 4	0,0005 ²		
st. 9	0,27	st. 18	0,0005 ¹	źr. 5	0,15		

st. – studnie, dr. – drewny, źr. – źródła, zb. – zbiorniki wodne,
^{1,2} – połowa wartości wskaźnika detekcji określonego przez laboratorium
 st. – wells, dr. – drainage pipes, źr. – springs, zb. – water reservoirs,
^{1,2} – half the value of the index specified by the laboratory detection



Ryc. 3. Stężenie fluoru w dwóch zbiornikach wodnych poniżej nieczynnego składowiska przemysłowego (Rajpolt, 2011) – dla czerwca i grudnia 1997 i września 2011, brak pomiarów dla zbiornika I
Fig. 3. The concentration of fluorine in the two water reservoirs below closed industrial landfill (Rajpolt, 2011) – for June and December 1997 and September 2011, no measurements in reservoir No I



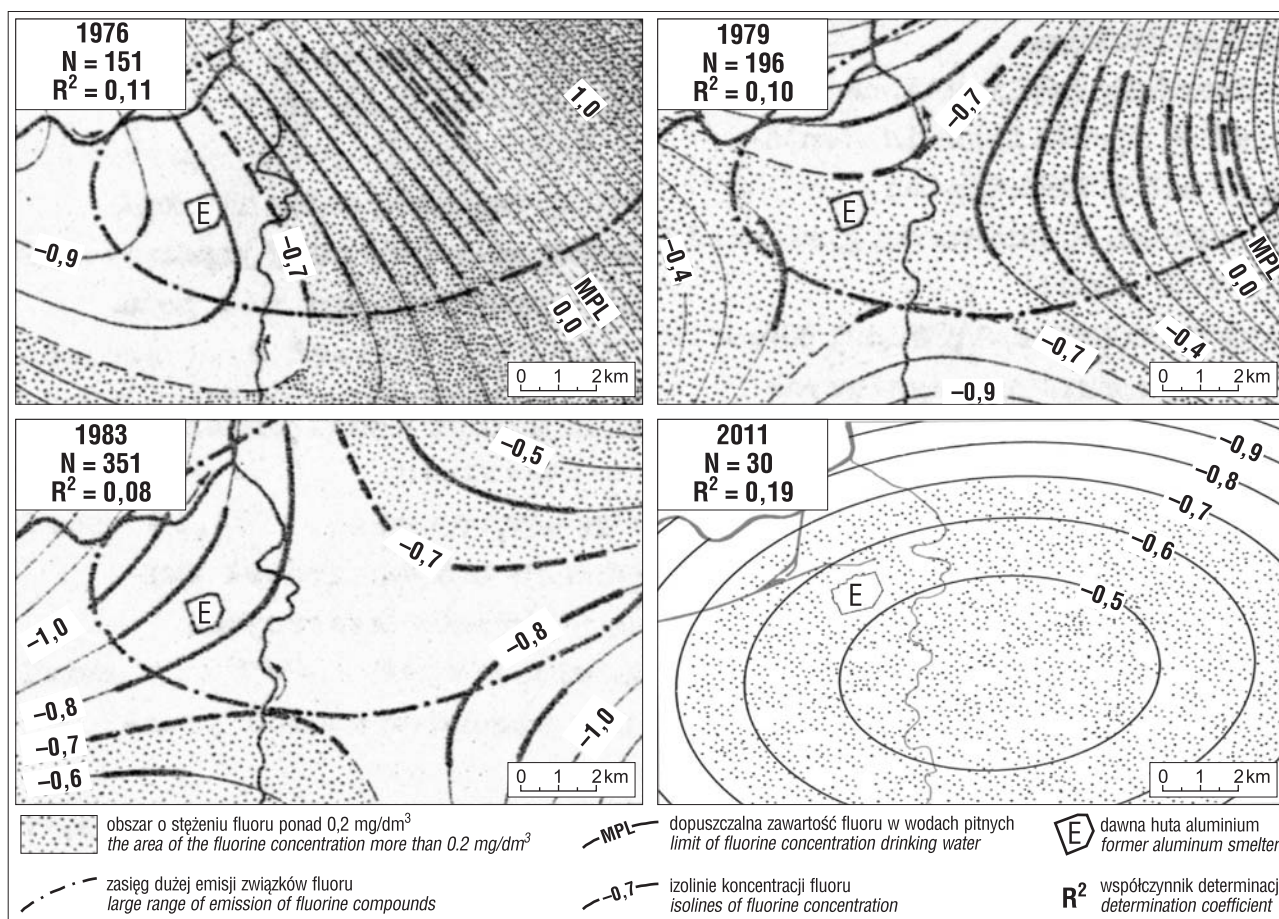
Ryc. 4. Krzywe kumulacyjne stężenia fluoru w wodach studziennych (Pietras i in., 1985b)
Fig. 4. Cumulative curves of fluorine concentration in well-water (Pietras et al., 1985b)

z wykorzystaniem metody chromatografii jonowej. Zastosowano w tym celu dwa chromatografy jonowe DIONEX ICS-2000 połączone z autosamplerem AS-40 i sterowane programem komputerowym Chromeleon w wersji 6.70. Oznaczono stężenie anionów fluoru (F^-). W przypadku stężenia fluoru w próbce niższego od limitu detekcji, za Edmundem i in. (2003) przyjęto połowę wartości wskaźnika detekcji określonego przez laboratorium.

Dla badanego obszaru oszacowano zakres tła hydrogeochemicznego dla fluoru, za granicę została przyjęta wartość $x_{sr} \pm 1,28\delta$, co odpowiada percentylom 10 i 90, i obejmuje 80% badanej populacji (Maciaszczyk, 1987).

Przy wyznaczaniu tła posłużono się metodą obliczeniową. Przed szacowaniem sprawdzono, czy dane charakteryzują się rozkładem normalnym lub log-naturalnym. Posłużono się testem Shapiro-Wilka (S-W) i Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lillieforsa (K-S-L).

W celu zbadania przestrzennego rozkładu przeprowadzono interpolację i ekstrapolację przestrzenną stężenia fluoru w wodach podziemnych, wykorzystano 4 metody: Incest Distance Weighting (IDW), Radial Basis Function (RBF), Local Polynomial Interpolation (LP), Simple Kriging. Metody IDW i RBF zaliczają się do metod „wiernych” – wartość otrzymana w wyniku interpolacji od-



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny stężenia fluorku w wodach podziemnych w okolicach Skawiny w latach 70. i 80. XX w. oraz w 2011 r. uzyskany metodą Global Polynomial Interpolation (GBI – Globalna interpolacja wielomianowa; Pietras i in. 1985b)

Fig. 5. The spatial distribution of the concentration of of fluorine concentration in groundwater near Skawina in the 1970s and 1980s and in 2011 obtained using Global Polynomial Interpolation (GBI; Pietras et al. 1985b)

powiada wartości rzeczywistej punktu pomiarowego. Natomiast LP i Simple Kriging są to metody „wygładzające” – wartość uzyskana podczas interpolacji nie musi odpowiadać wartości rzeczywistej. Do oceny dokładności przestrzennych modeli skorzystano z walidacji krzyżowej, a wartości średniego błędu estymacji przedstawiono za pomocą RMSE (pierwiastek średniego błędu kwadratowego). Im bardziej wartość RMSE jest zbliżona do zera, tym lepsze dopasowanie modelu (Łupikasza, 2007). Dla porównania rozkładu przestrzennego stężenia fluorku w wodach podziemnych w latach 70. i 80. XX w. z rozkładem w 2011 r., wykorzystano metodę Global Polynomial Interpolation (GP) z wielomianem drugiego stopnia. Ponadto podczas przeprowadzenia analiz i prezentowania wyników pracy zastosowane zostały oprogramowania: Excel 2003, Statistica 10 oraz ArcGIS 9.3.1.

WYNIKI

W badanych wodach podziemnych i powierzchniowych stężenie fluorku było bardzo zróżnicowane, szczególnie w przypadku zbiorników wodnych (tab. 1). Najwyższe stężenia fluorku (103,69 mg/dm³) odnotowano w zbiorniku wodnym położonym poniżej nieczynnego składowiska przemysłowego dawnej Huty Aluminium (zb. 1) – stężenie to było 60 razy wyższe, niż przewiduje norma dla wód przeznaczonych do spożycia (1,5 mg/dm³; Dz. U. nr 61,

poz. 417; tab.1). Wysokie stężenia stwierdzono również w zbiorniku wodnym położonym poniżej nieczynnego składowiska komunalnego (zb. 2) oraz w źródle w Skotnikach (źr. 1), były to wartości odpowiednio 6,77 i 5,75 mg/dm³. Najniższe stężenie fluorku zanotowano w źródle w Gaju (źr. 4) i studni w Jurczycach (st. 18), były one niższe niż wartość wskaźnika detekcji określona przez laboratorium (0,001 mg/dm³).

Wartość oszacowanego tła hydrogeochemicznego dla fluorku w wodach podziemnych w rejonie Skawiny wyniosła 0,10–0,46 mg/dm³. Rozkład stężeń fluorku w wodzie na poziomie istotności $p < 0,05$ nie miał charakteru normalnego ani log-normalnego.

Wysokie stężenie fluorku w źródle w Skotnikach, tj. 5,75 mg/dm³ (źr. 1), w porównaniu ze stężeniami fluorku stwierdzonymi w pozostałych punktach pomiarowych, świadczy o występującej niejednorodności w badanej populacji. Po wykluczeniu powyższego przypadku, rozkład stężeń fluorku w wodzie podziemnej w rejonie Skawiny charakteryzował się rozkładem normalnym, na poziomie istotności $p < 0,05$. Dlatego w dalszych analizach nie uwzględniano powyższej próbki.

Mapy rozkładu przestrzennego stężenia fluorku w wodach podziemnych dla czterech wybranych metod opracowano na podstawie 30 punktów pomiarowych (ryc. 2). We wszystkich czterech metodach RMSE był niższy od 0,2 co świadczy o dobrym dopasowaniu modelu. Najlepsze dopasowa-

nie rozkładu przestrzennego uzyskano metodą RBF (0,1292), a najsłabsze metodą LP (0,1618).

Na mapach rozkładu przestrzennego stężenia fluoru w wodach podziemnych w rejonie Skawiny, uzyskanych czterema metodami, można wyróżnić dwa obszary. Pierwszy z nich znajduje się w północnej części badanego terenu i charakteryzuje się najniższymi stężeniami, które nie przekraczają $0,2 \text{ mg/dm}^3$. Drugi obszar jest położony w środkowej części, stężenia fluoru są tam wyższe od $0,3 \text{ mg/dm}^3$.

Do zbadania związku pomiędzy odległością od dawnej Huty Aluminium „Skawina” a stężeniem fluoru w wodzie podziemnej wykorzystano metodę regresji liniowej. Na poziomie istotności 0,05 wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona wyniosła $-0,14$ i była nieistotna statystycznie, co oznacza, że brak jest zależności pomiędzy stężeniem fluoru w wodzie a odległością od dawnego emitora fluoru.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Najwyższe stężenia fluoru zanotowano podczas badań w 2011 r. w zbiorniku wodnym poniżej nieczynnego składowiska odpadów przemysłowych (zb.1). Stężenie fluoru wyniosło tam $103,69 \text{ mg/dm}^3$ i było jednym z najwyższych, jakie zanotowano w historii badań od 1982 r. Wyższe zmierzono tylko w 1986 r., tj. $351,70 \text{ mg/dm}^3$ (ryc. 4). W poszczególnych latach stężenie fluoru znacznie się zmieniło, wg Lekkiego (2002) jest to spowodowane zmianą wielkości powierzchni zbiorników wodnych. Jednak podczas badań terenowych w 2011 r. nie zauważono znacznej zmiany powierzchni zbiornika.

Wysokie stężenie fluoru w wodzie ($6,77 \text{ mg/dm}^3$) zanotowano również w zbiorniku znajdującym się poniżej składowiska komunalnego oraz obok terenu dawnej huty, na którym do 1998 r. była zdeponowana część odpadów. Świadczy to o dopływie zanieczyszczeń ze składowiska oraz prawdopodobnie z terenu huty.

Poza dwoma wyżej wymienionymi stawami, wysokie stężenie fluoru zmierzono także w źródle nr 1 w Skotnikach ($5,75 \text{ mg/dm}^3$). Wypływa ono w miejscu kontaktu wapieni jurajskich i utworów miocenijskich, gdzie znajduje się przypuszczalnie uskoki tektoniczny (Rutkowski, 1992). Podwyższone stężenia fluoru występują lokalnie w wodach podziemnych na obszarze Krakowa, ale nie osiągają one tak wysokich stężeń jak w wyżej wymienionym źródle (Witczak i in., 1997).

Otrzymany wykres rozkładu wartości skumulowanych stężeń fluoru dla wód studziennych z 2011 r. jest bardziej stromy od wykresu rozkładu krzywych w latach 1976, 1979 i 1983. Świadczy to o mniejszym zróżnicowaniu stężeń (ryc. 5).

W latach 70. i 80. XX w. odnotowano przypadki wyższego stężenia fluoru w wodzie niż przewiduje norma ($1,5 \text{ mg/dm}^3$; Dz. U. nr 61, poz. 417). Jednak ze względu na małą liczbę pomiarów i zasypanie niektórych studni nie można obecnie wykluczyć, że w części wód podziemnych stężenie fluoru jest wyższe od $1,5 \text{ mg/dm}^3$.

Średnia zawartość fluoru w wodach studziennych podawana przez Pietrasa i in. (1985b) dla lat 70. i 80. XX w. była niższa od stężenia z 2011 r. W porównaniu z wynikami otrzymanymi przez Rybickiego (1985) dla dwóch okresów: 1977–1980 i 1981–1982 była wyższa (odpowiednio

$0,18 \text{ mg/dm}^3$ i $0,16 \text{ mg/dm}^3$). Świadczy to o wzroście stężenia fluoru w wodzie w porównaniu z latami 70. i 80. XX w. Należy jednak ostrożnie podejść do takiej interpretacji wyników, bowiem różnica może być spowodowana liczbą pobranych próbek, miejscem ich pobrania oraz metodą, jaką się posłużono przy oznaczaniu zawartości fluoru w wodzie. Niemniej jednak nie stwierdzono obniżenia stężenia fluoru, czego można się było spodziewać po upływie tylu lat.

Zakres oszacowanego tła hydrogeochemicznego dla fluoru w wodach podziemnych w okolicy Skawiny wyniósł od $0,10$ do $0,46 \text{ mg/dm}^3$ i mieści się w przedziale tła wyznaczonym dla wód użytkowych w Polsce ($0,05$ – $0,5 \text{ mg/dm}^3$; Witczak i in., 2013). Górna granica tła jest nieznacznie wyższa od wartości, jaką otrzymał Pietras i in. (1985a) dla wód podziemnych w 1983 r., znajdujących się poza strefą bezpośredniego zagrożenia odpadami przemysłowymi z huty ($0,4 \text{ mg/dm}^3$).

Rozkłady przestrzennego stężenia fluoru w wodach podziemnych z lat 70. i 80. XX w. i z roku 2011 różnią się między sobą (ryc. 6). W latach 1976 i 1979 stężenia fluoru, w obszarach położonych na wschód od huty, były wyższe od $1,5 \text{ mg/dm}^3$, co nawiązuje do głównego kierunku rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowych i gazowych. W latach 1983 i 2011 nie zaobserwowano już takiej zależności. W modelu uzyskanym dla 2011 r., współczynnik determinacji wyniósł $0,19$ i był istotny statystycznie (błąd RMS = $0,1525$).

WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w zbiornikach powyroboiskowych położonych poniżej nieczynnego składowiska odpadów przemysłowych, pomimo upływu czasu i przeprowadzonej rekultywacji, nadal notuje się wysokie stężenie fluoru. Świadczy to o ciągłym wymywaniu związków fluoru z hałdy składowiska. Niezależnie od dużej emisji pyłów i gazów fluoronośnych w latach 1954–1981, średnie stężenie fluoru w wodach podziemnych w rejonie Skawiny w 2011 r. jest zbliżone do stężeń jakie zanotowano w latach 70. i 80. XX w. Zmianie uległ jednak rozkład przestrzenny stężeń fluoru w wodach podziemnych.

Dziękuję prof. J. Pociask-Karteczce oraz Recenzentom za cenne uwagi, które przyczyniły się do ulepszenia niniejszej pracy.

LITERATURA

- CHELMICKI W. 2001 – Woda. Zasoby, degradacja i ochrona. PWN, Warszawa: 29–33.
- CHOWANIEC J. 1991 – Region karpacki. [W:] Budowa geologiczna Polski. T. 7, Hydrogeologia. (red.), Malinowski J., Wyd. Geol., Warszawa, s. 204–215.
- CHOWANIEC J. & WITEK K. 1997 – Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Myślenice (996) + komentarz. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- EDMUNDS M. i in. 2003 – Natural baseline quality in european aquifers: a basis for aquifer management. Final contract report. Contract BASELINE, number: EVK1-CT1999-0006. Energy Environment and Sustainable Development, European Commission (<http://www.bgs.ac.uk/hydrogeology/baseline/europe>).
- KLECZKOWSKI A.S. 1991 – Wody podziemne. [W:] Dynowska I. & Maciejewski M. (red.) Dorzecze górnej Wisły. 1, PWN Warszawa: 261–300.
- KONDRACKI J. 1998 – Geografia regionalna Polski. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa: 304.

- LEKKI A. 2002 – Przegląd ekologiczny składowiska odpadów przemysłowych Zakładów Metalurgicznych „Skawina” S.A. Na podstawie decyzji Starostwa Powiatowego w Krakowie nr OS 7634/20/02/EC z dn. 06.02.2002, Skawina (niepublikowana).
- ŁUPIKASZA E. 2007 – Metody analizy przestrzennej w badaniach zmienności opadów w Europie. *Roczniki geomatyki*, 5: 71–81.
- MACIOSZCZYK A. 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa: 1–475.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 110–376.
- PIETRAS J. S., ŚLĘZAK A. & WIETRZAK S. 1985a – Zanieczyszczenia wód podziemnych fluorem w wyniku rozpraszania opadów produkcyjnych z Huty Aluminium. *Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Naukowa*, 13: 39–48.
- PIETRAS J. S., ŚLĘZAK A. & WIETRZAK S. 1985b – Rozkład zawartości fluoru w wodach gruntowych w otoczeniu byłej Huty Aluminium w Skawinie. *Materiały III ogólnopolskiego Sympozjum. Kraków-Karniewice 28–30 maja 1985 r.* [W:] Aktualne problemy hydrogeologii, Wyd. AGH, Kraków: 453–462.
- RAJPOLT B. 2010 – Fluorine pollution of underground waters in the area of the repository of the former aluminium metallurgy plant in Skawina. *Geomatics and environmental engineering*, 4 (1): 69–80.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz. U.* nr 61, poz. 417.
- RUTKOWSKI J. 1992 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1 : 50 000, ark. Kraków (973) + komentarz. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- RYBICKI S.A. 1985 – Zawartość fluoru i innych składników w wodach podziemnych i powierzchniowych w rejonie Skawiny. *Zesz. Nauk. AR. Sesja Naukowa*, 13, Kraków: 31–39.
- STARKEL L. 1991 – Rzeźba terenu. [W:] Dynowska I. & Maciejewski M. (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, 1, PWN Warszawa-Kraków: 30–40.
- WITCZAK S., KANIA J. & KMIECIK E. 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczenia wód podziemnych i metody ich oznaczania. *Bibl. Monit. Środ. Wyd. PIOŚ*, Warszawa.
- WITCZAK S., HAŁADUS A. & DUDA R. 1997 – Komentarz do Mapy Hydrogeologicznej Polski skali 1 : 50 000. ark. Kraków (973), Państw. Inst. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 21.02.2013 r.

Akceptowano do druku 13.04.2015 r.