

BARBARA TOMASZEWSKA*

Monitoring środowiska wodnogruntowego w rejonie Skawiny

Słowa kluczowe

Składowisko odpadów, zanieczyszczenie wód

Streszczenie

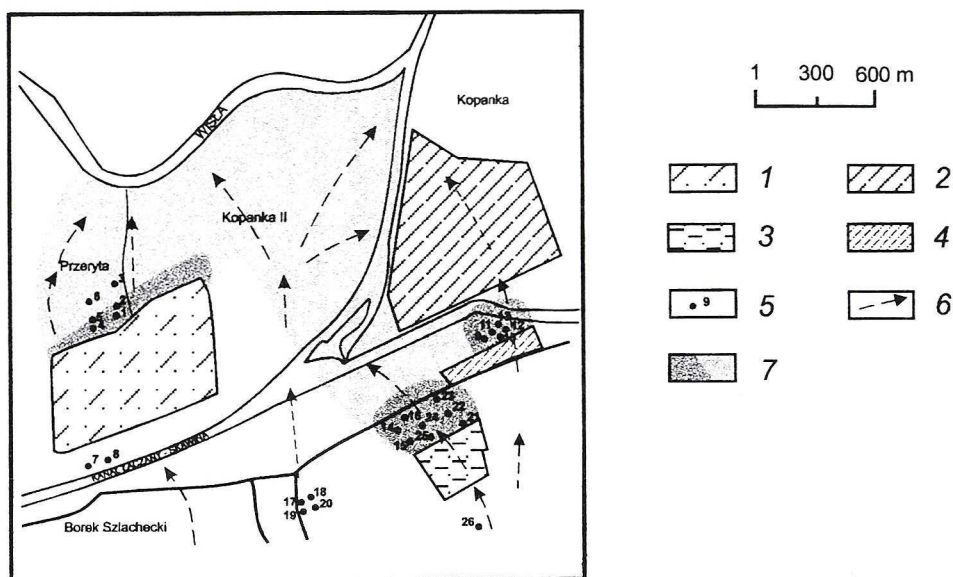
Praca prezentuje wyniki badań składu chemicznego wód podziemnych poziomu czwartorzędowego oraz roztworów porowych wydzielonych z próbek gruntów pobranych w rejonach ekspozycji odpadów przemysłowych i komunalnych Skawiny. Wykonanie 26 otworów wiertniczych w otoczeniu składowisk pozwoliło określić ładunki wynoszonych zanieczyszczeń oraz ocenić stan środowiska wodnogruntowego.

Wprowadzenie

Miasto i gmina Skawina położona jest w odległości 14 km na połudnowy zachód od Krakowa. Powierzchnia gminy wynosi 100,2 km², z tego na miasto przypada 20,5 km². Rejon ten charakteryzuje nagromadzenie różnych gałęzi przemysłu i gospodarki, którym towarzyszą składowiska odpadów przemysłowych, energetycznych i komunalnych.

W okresie czerwiec—wrzesień 1998 roku w rejonie Skawiny wykonano badania terenowe, w ramach których pobrano próby wód z cieków powierzchniowych i zbiorników wodnych oraz studni gospodarskich, a także odwiercono 26 otworów badawczych w celu pobrania prób gruntów oraz wód gruntowych do analizy laboratoryjnej. W otoczeniu składowisk: odpadów popiołowych Elektrowni „Skawina” (8 otworów), odpadów komunalnych (9 otworów) oraz odpadów przemysłowych Huty Aluminium (Zakładów Metalurgicznych — 5 otworów). Wykonano również 4 otwory kontrolne w pobliżu drogi utwardzonej w latach siedemdziesiątych odpadami z Huty Aluminium, zawierającymi między innymi związku fluoru (rys. 1).

* Mgr inż., Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań

- 1 — obszar składowiska El. „Skawina”, 2 — obszar zrehabilitowanego składowiska El. „Skawina”,
 3 — obszar składowiska komunalnego, 4 — obszar składowiska Zakładów Metalurgicznych,
 5 — otwory monitoringowe, 6 — główne kierunki przepływu wód podziemnych,
 7 — przypuszczalne zasięgi zanieczyszczenia wód

Fig. 1. Location of the investigation area

- 1 — Power Station “Skawina”’s waste dump, 2 — Power Station “Skawina”’s reclaimed waste dump, 3 — municipal waste dump, 4 — Metallurgical Plant waste dump, 5 — monitoring boreholes, 6 — direction of groundwater flow, 7 — supposed ranges of waters pollutions

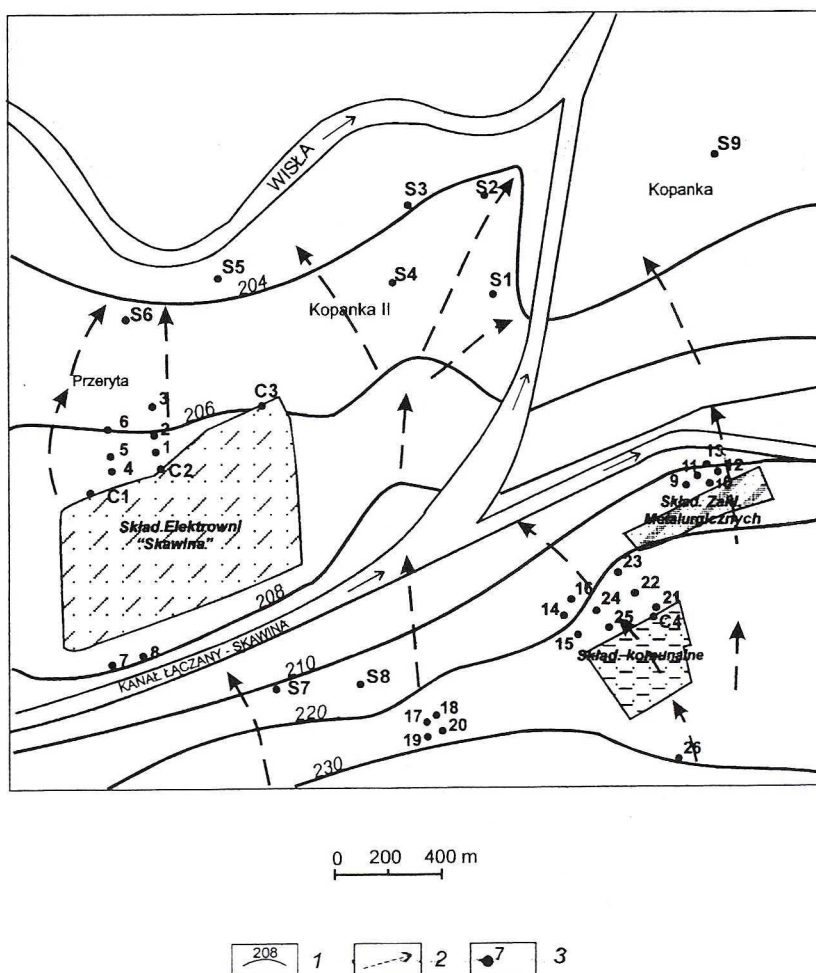
1. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Teren objęty badaniami leży w dolinie Wisły i stanowi fragment Zapadliska Przedkarpackiego. W budowie geologicznej pierwszą warstwę stanowią utwory czwartorzędowe reprezentowane przez osady rzeczne, spoczywające na trzeciorzędowych ilach miocenijskich. W skład osadów rzecznych wchodzi gruboziarniste piaski, pospółki i żwiry, lokalnie przykryte mადami rzecznyimi, przewarstwione glinami, glinami pylastymi i mułkami. Podłoże osadów czwartorzędowych stanowią nieprzepuszczalne iły miocenu i — lokalnie — wapienie jury.

W obrębie utworów piaszczysto-żwirowych występuje czwartorzędowy poziom wodonośny. Ma on charakter ciągły. Warstwa wodonośna o zmiennej miąższości ograniczona jest spągami zbudowanym z nieprzepuszczalnych ilów miocenijskich i stropem, który miejscami budują słabo przepuszczalne gliny rzeczne oraz mułki i mადy. Zwierciadło wód podziemnych kształtuje się (czerwiec 1998 r.) na głębokościach 2,06—5,11 m ppt i na ogół ma charakter swobodny. Czwartorzędowy poziom wodonośny stanowi podstawowe źródło zaopatrzenia w wodę studni gospodarskich w badanym rejonie. Zasilany jest z infiltracji opadów atmosferycznych

(bezpośredniej i pośredniej). Rozkład pola hydrodynamicznego zależy od ilości opadów, parametrów filtracji, jak również położenia lustra wody w ciekach powierzchniowych — Wiśle, Skawince i kanale Łączany-Skawina. Generalny kierunek przepływu wód gruntowych w badanym terenie zwrócony jest ku Wiśle. Lokalnie układ hydroizohips modyfikowany jest przez rzekę Skawinkę i kanał Łączany-Skawina, który w rejonie ujścia do Wisły ma także charakter drenujący (rys. 2).

Poziom wodonośny trzeciorzędowy w łażach miocenijskich związany jest z występującymi w tej serii wkładkami piasków i piaskowców. Warstwa wodonośna ma miąższość od 1,0—4,5 m. Jej zasoby dyspozycyjne są ograniczone, wody są słabo odnawialne (Poręba, Bogacz 1997).



Ryc. 2. Mapa hydroizohips czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie Skawiny. Stan na czerwiec 1999 r.
1 — hydroizohipsy, 2 — linie prądu, 3 — punkty poboru próbek wód i pomiaru zwierciadła wody

Fig. 2. Map of Quaternary groundwater level in the Skawina region (June 1998)
1 — hydroizohypse, 2 — flow line, 3 — points of water sampling and groundwater level estimation

2. Metodyka badań

W celu określenia składu chemicznego roztworów porowych gruntów czwartorzędowych ze strefy aeracji, jak również pobrania próbek wód podziemnych poziomu czwartorzędowego, w rejonach składowisk komunalnego i elektrownianego wykonano sieć otworów badawczych. Punkty monitoringowe w otoczeniu składowisk zostały zlokalizowane w trzech strefach (wg Dörhöfer 1997) (rys. 1):

— od strony napływu wód podziemnych w rejon składowiska; służą one do wyznaczenia naturalnego tła hydrogeochemicznego wód czystych napływających w rejon składowiska (otwory 7, 8, 26);

— w obrębie składowiska, które pozwalają na określenie maksymalnych stężeń zanieczyszczeń przenikających ze składowiska do podłoża; wykorzystano tutaj system drenażowy dla odcieków, skąd pobrano próbki do dalszych badań hydrogeochemicznych (C1, C2, C3, C4);

— poniżej składowiska na obszarze odpływu wód podziemnych, strefa wód zanieczyszczonych (otwory 1—6, 14—16, 21—25);

Na obszarze odpływu wód podziemnych z rejonu składowiska punkty LMWP (Lokalny Monitoring Wód Podziemnych) winny być zlokalizowane w trzech strefach odległościowych: I, II, III od konturu składowiska. Wyznacza się je dla trzech różnych czasów przepływu wód: $T_I < 200d$, $T_{II} = 2a$, $T_{III} > 2a$. Pierwsza seria otworów winna być zlokalizowana w odległości od składowiska nie większej niż określona 200-dniowym czasem przepływu wód ($T < 200d$). Druga i trzecia seria punktów monitoringowych winny znaleźć się w odległości określonej czasem przepływu wynoszącym około 2 lata (T_{II} , $T_{III} \geq 2a$) (Szczepańska, Kmiecik 1998).

Zasięg stref, w jakich powinny być zlokalizowane punkty monitoringowe poniżej składowiska, na odpływie wód, wyznaczono na podstawie wzorów:

$$L_I = U \cdot T_I$$

gdzie $T_I = 200$ dni (200d),

$$L_{II} = U \cdot T_{II}$$

gdzie $T_{II} = 2$ lata (2a),

$$L_{III} = U \cdot T_{III}$$

gdzie $T_{III} > 2$ lata (2a).

Średnią rzeczywistą prędkość migracji wód podziemnych U [m/a] obliczono ze wzoru:

$$U = (k \cdot J/n_e) \cdot 365$$

gdzie:

- k — współczynnik filtracji skał warstwy wodonośnej [m/d];
- J — spadek hydrauliczny [bezwym.];
- n_e — porowatość efektywna skał [bezwym.].

Ograniczone możliwości techniczne oraz terenowe nie pozwoliły zastosować powyższego schematu badań na przedpolu składowiska odpadów metalurgicznych. Otwory badawcze zlokalizowano tutaj na kierunku spływu wód zanieczyszczonych (rys. 1).

Próbki wody pobierane były do pojemników polietylenowych o pojemności 100 ml, zgodnie z metodyką pobierania próbek określoną przez PIOŚ (1994). W terenie zostały oznaczone niektóre parametry, które powinny być obligatoryjnie oznaczane bezpośrednio przy poborze próbek wody. Określono barwę wody, odczyn pH (metodą elektrometryczną zgodnie z PN-90/C-04540/01), przewodność elektrolityczną właściwą (konduktometrem), potencjał redox, Eh, temperaturę oraz zapach wody. W celu oznaczenia rozpuszczonych form badanych składników, próbki wody przefiltrowano przez filtr membranowy o średnicy 0,45 m.

W celu określenia warunków hydrodynamicznych pomierzono położenie zwierciadła wody w studniach gospodarskich gminy Skawina, jak również w otworach monitoringowych. Na podstawie tych pomiarów wykreślono mapę hydroizohips czwartorzędowego poziomu wodonośnego (rys. 2). Wykreślając linie prądu (drogi migracji zanieczyszczeń wód podziemnych na kierunku od ognisk skażeń), zbudowano siatkę hydrodynamiczną obszaru filtracji na przedpolu składowisk.

Z pobranych próbek gruntów czwartorzędowych wydzielono roztwory porowe metodą wysokich ciśnień w aparacie Kriukowa (utwory plastyczne, ropy, piaski zailone), stosując obciążenia od 1 do 10 t/cm² oraz odwirowywane w wirówce (piaski) przy prędkości 3000 obr./min. Określono również wilgotność naturalną gruntu oraz współczynnik filtracji w aparacie do wyznaczania współczynnika filtracji oraz krytycznych gradientów hydraulicznych sufozji i upłynnienia.

Wydzielone roztwory porowe oraz próbki wód pobrane w terenie poddano analizie chemicznej w Laboratorium Hydrogeochemicznym Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH w Krakowie. Stężenia makro- i mikroskładników oznaczono metodą ICP — spektrometrem emisyjnym z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (Perkin-Elmer). Do oznaczenia anionów (Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, NO₂⁻) wykorzystano metodę elektroforezy kapilarnej CE (270 A-HT, Perkin-Elmer). Ponadto oznaczono wodorowęglany (HCO₃⁻) i, kontrolnie, chlorki (Cl⁻) metodą objętościową (miareczkową). Wyniki przeprowadzonych w ten sposób oznaczeń poddano interpretacji programem komputerowym WATEQ 4F.

3. Analiza wyników

3.1. Wody podziemne poziomu Q

Analizując w rejonie Skawiny zmienność hydrogeochemiczną wód podziemnych poziomu czwartorzędowego można wyróżnić kilka lokalnych anomalii pochodzenia antropogenicznego. Wyraźnie zauważalna jest strefa oddziaływania na środowisko wodne obecnie eksploatowanego składowiska odpadów Elektrowni „Skawina” (rys. 1, tab. 1). Biorąc pod uwagę mineralizację wód (2,46—2,56 g/l) należy stwierdzić, że strefa ta wynosi około 60 m w kierunku północnym, co odpowiada czasowi migracji wód podziemnych od krawędzi składowiska około 2 lat. Dominującymi jonami są tutaj chlorki (304,41 do 1087 mg/l), siarczany (578,7 do 613,3 mg/l),

Uzyskane wartości stężenia jonów w otworach monitoringowych

The values of ions concentrations obtained in monitoring borcholes

Jony [mg/dm ³]	Roztwory porowe	Tł hydrochemiczne roztworów porowych	Wody podziemne	Tł hydrochemiczne wód podziemnych
Składowisko Elektrowni „Skawina”				
SO ₄	98,03—754,9	124,7	55,33—613,3	16,03—48,94
Cl	98,03—1545,95	33,97	24,20—1294,15	17,11—39,65
Na	51,56—735,3	39,26	8,1—577,6	4,77—11,68
B	0,423—8,72	0,248	0,01—5,737	<0,01
Składowisko Zakładów Metalurgicznych				
Na	461,7—1113	35,12	253,1—5399	21,56
F	11,46—69,27	3,30	30,98—743,24	1,92
SO ₄	112,6—1794	98,22	107,9—595,4	52,91
NO ₃	3,10—22,7	72,2	1,39—95,21	27,77
P	0,1—0,575	<0,1	0,1—12,43	<0,1
Składowisko komunalne				
Cl	251,82—926,47	127,3	1799,6—3769,7	49,06
Na	227,9—1337	35,12	1195—2420	21,56
K	12,99—243,7	5,4	66,22—493,4	4,7
B	2,48—12,03	0,541	5,51—18,62	0,155
NO ₃	25,33—125,6	72,2	159,2—377,96	27,77

sód (568,6 do 632 mg/l) oraz wapń, potas, a z mikroelementów bor oraz stront (tab.1). Odczyn pH jest obojętny, natomiast przewodnictwo elektrolityczne właściwe zawiera się w przedziale 3,51—3,7 mS/cm. Według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca są to wody typu Cl-SO₄-Na-Ca. Naturalne tło hydrochemiczne (otwory 7 i 8) charakteryzuje się bardzo niską mineralizacją 0,108—0,202 g/l i lekko kwaśnym odczynem. Dominujące jony nadają tej wodzie typ Cl-SO₄-Ca (tab. 1).

Bardzo wysokimi stężeniami substancji zanieczyszczających, chlorków (1799,6—3769,7 mg/l), sodu (1195—2420 mg/l), potasu, azotanów, fluoru, boru, jak również metali Cr, Cu, Ni, oraz ogólną mineralizacją (4,8—8,95g/l) charakteryzują się wody w otoczeniu składowiska komunalnego (rys. 1, tab. 1). Według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca są to wody typu Na-Cl lub Na-Cl-HCO₃. Zasięg wód zanieczyszczonych jest w tym przypadku znacznie większy niż w re-

jonie wsi Kopanka II, gdyż ładunki zanieczyszczeń są bardzo wysokie. Migracja odbywa się w środowisku średnio przepuszczalnych (wg Pazdro, Kozerski 1990) piasków średnioziarnistych ($k = 2,7 \cdot 10^{-5}$). Wysokie stężenia jonów zanieczyszczających, przekraczające wartości dopuszczalne dla wód pitnych, zanotowano we wszystkich otworach badawczych wykonanych poniżej składowiska na obszarze odpływu wód podziemnych.

Obserwuje się również negatywny wpływ na środowisko wodnogruntowe „zrekultywowanego” składowiska odpadów przemysłowych byłej Huty Aluminium (dzisiaj Zakładów Metalurgicznych) w Skawinie (rys. 1, tab. 1). Składowisko odpadów produkcyjnych (tzw. gruzu katodowego pochodzącego z wyburzeń wanien elektrolitycznych), które zawierają około 12% wag. fluoru wymywanego wodą głównie w postaci fluorku sodowego (Pietras, Ślęzak, Witczak 1984) zlokalizowane zostało w byłym wyrobisku piasków. W 1983 r. całkowitą ilość odpadów oceniono na 3200 t, a na podstawie szczegółowych badań określono ilość całkowitą fluorku na około 350 t, a łatwo rozpuszczalnego na 32 t (Gołda, Trafas 1987). Pomimo przeprowadzonej w ubiegłych latach rekultywacji i upływu czasu, w dalszym ciągu z bryły składowiska wymywane są związki fluorku (głównie NaF), a ich zawartości w wodach wynoszą nawet 743,24 mg/l (tab. 1). Zanotowano również w wodach wysokie stężenia sodu (235,1—5399 mg/l), siarczanów. Według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca są to wody typu Na-HCO₃-F lub Na-SO₄. W rejonie tym zarejestrowano również lokalne skażenie terenu węglowodorami alifatycznymi w ilości 28 598,7 mg/kg suchej masy.

3.2. Roztwory porowe

Wydzielenie roztworów porowych z gruntów czwartorzędowych ze strefy aeracji w rejonach składowisk odpadów umożliwia poznanie zarówno naturalnych procesów wzajemnego oddziaływania cząstek gruntowych i wody będącej z nimi w bezpośrednim kontakcie, jak również przesłedzenie możliwości ewentualnego wpływu składowisk na środowisko wodnogruntowe. Przez wody porowe rozumie się wody wypełniające pory i szczeliny, niezależnie od stopnia związania ze szkieletem mineralnym (Szczepańska, Szczepański 1980). Wśród czynników kształtujących właściwości fizyczno-chemiczne wód porowych można wyróżnić litologię gruntu, głębokość zalegania, stopień infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych, charakter gruntów (rolnicze, nieużytki), zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych, jak również odległość od krawędzi składowiska.

Stopień niejednorodności wód porowych zależy od koloidalno-chemicznych właściwości skały. Doświadczenia wykazały, że wody porowe wydzielone ze skał grubodispersyjnych (piaszczysto-pylastych) charakteryzują się stałą mineralizacją i składem chemicznym niezależnie od stosowanych ciśnień. Zjawisko to należy wiązać z faktem, że większość wód porowych stanowią tu wody nieodsączone grawitacyjnie, uwięzione w porach i kapilarne (Szczepańska J. i in. 1980).

Należy dodać, iż na jakość wód porowych wydzielonych z próbek gruntów pobranych w rejonie Skawiny ma również wpływ kwaśny odczyn pH opadów atmosferycznych (ok. 4,5), mokra depozycja azotu (ok. 492—501 mg/m²), siarki, głównie w postaci siarczanowej (ok. 1374—1795 mg/m²), wapnia, magnezu, fluorku oraz metali ciężkich. Reagujące ze szkieletem mineralnym kwaśne deszcze powodują obniżenie pH gruntów oraz uwalnianie się metali ciężkich.

Rolnicze wykorzystywanie gruntów w połączeniu z nawożeniem organicznym lub syntetycznym powoduje przedostawanie się do strefy aeracji i saturacji związków azotu oraz potasu.

Analizując wszystkie czynniki mające wpływ na właściwości fizyczno-chemiczne roztworów porowych w rejonie składowiska Elektrowni „Skawina” należy wnioskować, że zasięg jego oddziaływania obejmuje grunty położone na głębokości poniżej 0,4 m ppt z malejącą tendencją w kierunku północnym. Roztwory porowe wydzielone z gruntów zalegających na głębokości 0,1—0,4 m ppt mają zdecydowanie niższą mineralizację poniżej 1 g/l, niższe stężenia substancji zanieczyszczających, z wyjątkiem anionu azotanowego oraz typ wielojonowy.

Badania roztworów porowych w rejonie składowiska komunalnego wykazały, w porównaniu z tłem hydrogeochemicznym, wzrost udziału jonów sodu (227,9—1113 mg/l), chlorków (251,8—1995,7 mg/l) oraz boru, natomiast w rejonie składowiska metalurgicznego siarczanów (107,9—1794 mg/l), sodu (461,7—1113 mg/l), fluoru (11,46—69,27), glinu (3,0—3,58 mg/l) i boru (tab. 1). Płytkie zaleganie zwierciadła wód gruntowych oraz charakter litologiczny skał (piaski średnioziarniste) w rejonie obu składowisk wpływa na cechy środowiska wodnogruntowej strefy aeracji.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wyraźnie ilustrują degradacyjny wpływ składowania odpadów komunalnych, metalurgicznych i energetycznych na skład chemiczny roztworów porowych utworów czwartorzędowych w strefie aeracji oraz środowisko wodne badanego obszaru. W rejonie Skawiny obserwuje się wysoką dynamikę zmian przestrzenno-czasowych jakości wód czwartorzędowego poziomu wodonośnego, znajdującego się pod bezpośrednim wpływem odcieków infiltracyjnych ze składowisk. Oprócz tych głównych ognisk zanieczyszczeń niewątpliwie wpływ na środowisko wodnogruntowe wywierają także: działalność rolnicza i bytowa w otoczeniu Skawiny oraz tzw. utylizacja odpadów poprzez podsypywanie dróg i deniwelację terenu.

LITERATURA

- Dörhöfer G., 1997 — Landfield Monitoring Plan Water for Leachate. Groundwater, Surfacewater, NLFb (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung), Hannover.
- Gołda T., Trafas M., 1987 — Wytyczne dla prac rekultywacyjnych przewidzianych do wykonania w 1987 r. na składowisku odpadów byłej Huty Aluminium w Skawinie. Kraków (niepubl.).
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990 — Hydrogeologia Ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
- Pietras J., Ślęzak A., Witczak S., 1984 — Zanieczyszczenie wód podziemnych fluorem w wyniku rozproszenia odpadów produkcyjnych z Huty Aluminium. Zesz. Nauk. AR nr 188, Kraków.
- Poręba E., Bogacz A., 1997 — Miasto i Gmina Skawina. Mapa geologiczna z rejestracją wystąpień kopalin. (niepubl.).
- Szczepańska J., Kmiciek E., 1998 — Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych. Wyd. AGH, Kraków.
- Szczepańska J., Szczepański A., 1980 — Wody porowe w klasyfikacji i systematyce wód podziemnych. Tech. Poszuk. Geol. 19, nr 1, Warszawa.
- Szczepańska J., Szczepański A., Vu Ngoc Ky, 1980 — Wpływ ciśnienia na wyniki badań chemizmu wód porowych. Kwart. Geolog. t. 24, nr 4.

- Szczepański A., Tomaszewska B., 1999 — Hydrogeochemiczny stan środowiska gruntowowodnego w rejonie Skawiny. Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. IX, Warszawa–Kielce 15—17 września 1999.
- Witczak S., Adamczyk A., 1994 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. 1, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa .
- Witczak S., Adamczyk A., 1995 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. 2, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

BARBARA TOMASZEWSKA

MONITORING OF THE GROUNDWATERS ENVIRONMENT IN THE SKAWINA REGION

Key words

Waste dump, water pollution

Abstract

The paper presents the results of investigation of the chemical composition of groundwaters of the quaternary aquifer and pore solutions ejected from the ground, which was sampled in the regions exposed to the industrial and municipal pollutions of Skawina City. Twenty six exploratory hydrogeological boreholes around controlled waste disposals allowed us to evaluate the state of the ground and the groundwater environment.

The municipal dump influence on the quaternary aquifer appears at high concentrations of pollutant, chlorides (1799.6—3769.7 mg/l), sodium (1195—2420 mg/l), potassium, fluorine, boron and metals Cr, Cu, Ni. In the fly ashes dump region was detected in water increased concentrations of chlorides, sulphureous, sodium, calcium, potassium, Br and Sr. There are high concentrations of fluorine and sodium in the metallurgical dump.

The results of investigation of the chemical composition of pore solutions in the waste dumps regions appear at higher concentrations of contamination indicators. The range of groundwater pollution is broadest in the municipal dump.