

JACEK MOTYKA*, ZBIGNIEW ADAMCZYK**, MARIUSZ CZOP***, KAJETAN D'OBYRN****

Wpływ składowiska odpadów komunalnych w Ujkwie koło Olkusza na jakość wód podziemnych

Słowa kluczowe

Zanieczyszczenie wód podziemnych, odpady komunalne, składowiska odpadów, odkrywka Ujków, piętro triasowe, rejon olkuski

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę wpływu składowiska odpadów w Ujkwie na jakość wód piętra triasowego w jego otoczeniu. Brak izolacji dna odkrywki „Ujków” sprawia, że odcieki ze składowanych odpadów komunalnych mają możliwość przenikania do podłoża zbudowanego ze spękanych i skrasowiałych wapieni i dolomitów triasowych i przemieszczania się w strumieniu wód podziemnych. Badania monitoringowe składu chemicznego próbek wody z 4 piezometrów położonych w rejonie składowiska wskazują na znaczące zanieczyszczenie wód piętra triasowego. Związane jest ono ze wzrostem mineralizacji tych wód oraz zwiększeniem się stężeń wskaźników charakterystycznych dla odcieków ze składowisk odpadów komunalnych: chlorków, siarczanów, sodu, potasu i boru.

Wprowadzenie

Odpady komunalne są typowym, nieodłącznym produktem ubocznym działalności człowieka. W miarę postępu cywilizacyjnego ilość tych odpadów w przeliczeniu na mieszkańca

* Prof. dr hab. inż., *** Dr inż., Katedra Górnictwa Odkrywkowego, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków.

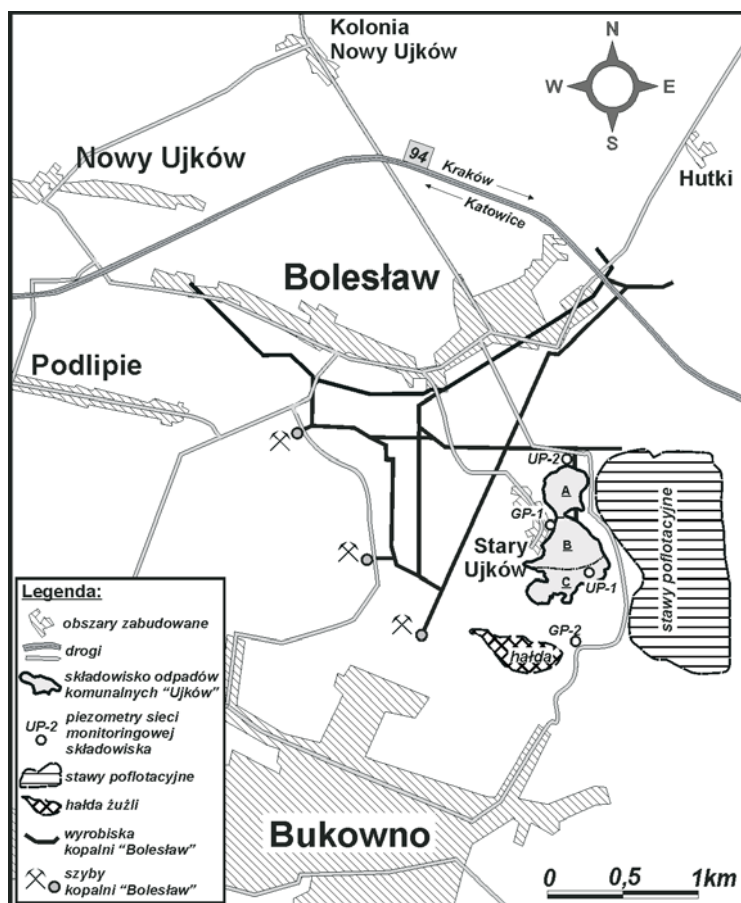
** Mgr inż., ZGH „Bolesław”, Bukowno.

**** Dr inż., Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, Kraków.

Recenzował prof. dr hab. inż. Stanisław Witeczak

szybko rośnie. W Polsce, podobnie jak i w innych krajach, najpopularniejszą metodą pozbywania się odpadów komunalnych jest ich składowanie, zarówno legalne, jak i niezgodne z obowiązującymi przepisami prawa. Do niedawna odpady komunalne mogły być składowane bez specjalnych zabezpieczeń. W rezultacie, składowiska odpadów komunalnych w Polsce były w przeszłości lokalizowane w naturalnych lub sztucznych depresjach morfologicznych, bez wykonania odpowiednich zabezpieczeń, uniemożliwiających przenikanie odcieków z tych składowisk do środowiska wód podziemnych.

Rejon olkuski jest historycznym obszarem eksploatacji rud cynku i ołowiu, występujących tu w formie minerałów siarczkowych i tlenkowych. W miejscach gdzie rudy utlenione znajdowały się płytko pod powierzchnią lub na powierzchni terenu eksploatowano je sposobem odkrywkowym, między innymi w odkrywce „Ujków” koło Bukowna na zachód od Olkusza (rys. 1). Po wyczerpaniu się zasobów rudy odkrywka ta została w pewnej partii wykorzystana jako składowisko odpadów komunalnych, częściowo bez wykonania jakich-



Rys. 1. Szkic sytuacyjny rejonu badań

Fig. 1. Schematic sketch of the study area

kolwiek zabezpieczeń. Powstała więc możliwość zbadania wpływu odcieków z odpadów komunalnych zdeponowanych w odkrywce „Ujków” na jakość wód podziemnych w jej otoczeniu. Tak postawiony problem komplikuje jednak nakładanie się wpływów innych ognisk zanieczyszczeń, znajdujących się w sąsiedztwie odkrywki (rys. 1).

Nieczynna odkrywka galmanów „Ujków” składa się z trzech oddzielnych sektorów: północnego (A), środkowego (B) i południowego (C) (rys. 2). Północna część odkrywki jest wypełniona odpadami poflotacyjnymi z przeróbki rud cynku i ołowiu w Zakładach Górniczo-Hutniczych „Bolesław” w Bukownie koło Olkusza. Południową jej część wypełniają odpady komunalne z gminy Bukowno, składowane tu w latach 1980—1984 bez jakichkolwiek zabezpieczeń podłoża przed wnikaniem do niego odcieków. Środkowa część nieczynnej odkrywki jest obecnie zasypywana odpadami komunalnymi, ale dno i ściany wyrobiska poeksploatacyjnego są uszczelnione łem i folią, co praktycznie uniemożliwia przesiąkanie odcieków z tego składowiska do podłoża, zbudowanego ze spękanych i skrasowiałych dolomitów i wapieni triasowych.

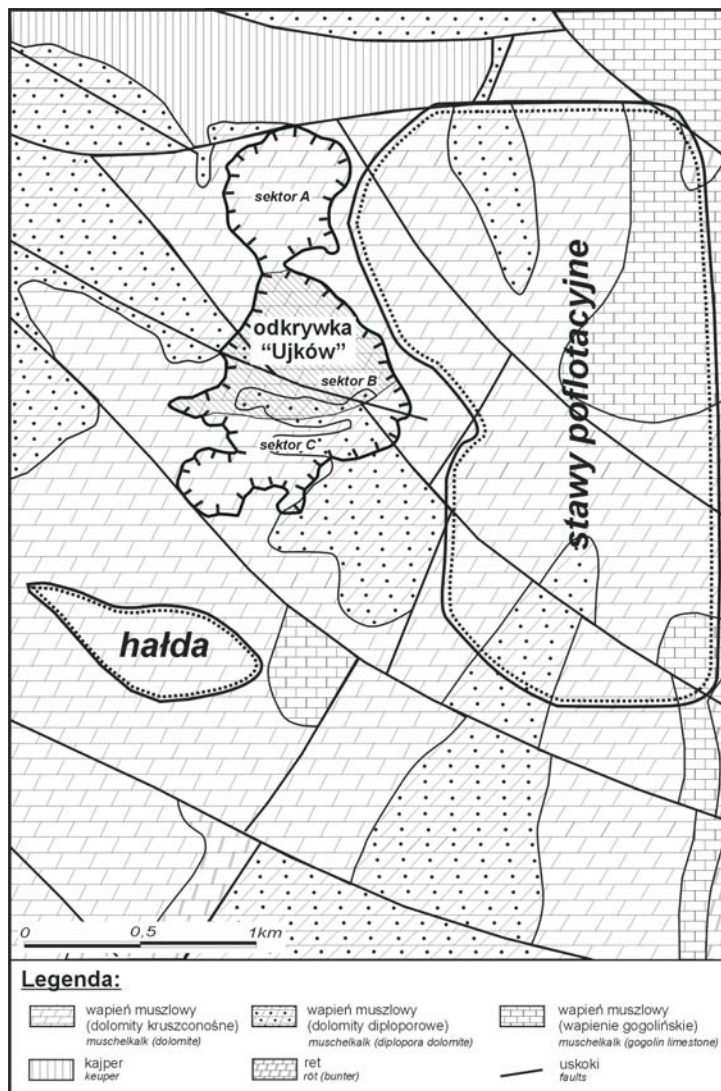
Na wschód od odkrywki „Ujków” znajdują się stawy osadowe odpadów poflotacyjnych z przeróbki rud cynku i ołowiu. Zostały one zlokalizowane w nieczynnych piaskowniach, w których wydobywano piaski czwartorzędowe, używane do podsadzania podziemnych wyrobisk górniczych. Również w przypadku tych składowisk nie wykonano odpowiedniego uszczelnienia podłoża, przez co odcieki z nich mogą swobodnie wnikać do triasowego podłoża. Na zachód od odkrywki „Ujków” znajduje się hałda odpadów z przeróbki rud cynku i ołowiu, na którą wylewano kwaśne odpady ciekłe z produkcji kwasu siarkowego oraz obecnie zlikwidowana kopalnia rud cynku i ołowiu „Bolesław”, której wyrobiska są endogennym ogniskiem zanieczyszczeń, powstałym wskutek wietrzenia minerałów siarczkowych po kilkudziesięciometrowym obniżeniu zwierciadła wód podziemnych w otoczeniu wyrobisk tej kopalni.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań monitoringowych w rejonie nieczynnej odkrywki „Ujków” w latach 1997—2003. Autorzy dziękują Dyrektorowi Zakładu Gospodarki Komunalnej „Bolesław” Sp. z o.o. w Bolesławiu za wyrażenie zgody na opublikowanie tych wyników i ich interpretację.

1. Warunki hydrogeologiczne w rejonie odkrywki „Ujków”

W rejonie odkrywki „Ujków” występują utwory czwartorzędu, triasu i permu. Na wschód od odkrywki ciągnie się pradolina Przemszy, wypełniona utworami czwartorzędowymi o miąższości przekraczającej miejscami 60 m. Pod względem litologicznym są to w przewadze piaski drobno- i średnioziarniste z wkładkami pyłów i glin. Na wychodniach węglanowych skał triasowych, budujących wyniesienia morfologiczne, do czwartorzędu zaliczono gliny zwietrzelinowe i rumosze. Zwykle utwory te mają niewielką miąższość, rzędu do paru metrów, ale w niewielkich depresjach morfologicznych i w lejkach krasowych ich miąższość może dochodzić do kilkunastu metrów.

W profilu litologicznym triasu występują utwory kajpru, wapienia muszlowego i pstrego piaskowca. Osady kajpru (trias górny), głównie ropy i ropy o miąższości 6—8 m, występują jedynie w niewielkim rowie tektonicznym, w obszarze bezpośrednio przyległym do odkrywki „Ujków” od północy (rys. 2). Sama odkrywka została zgłębniona w dolomitach dipoporowych i kruszonośnych, zaliczonych do wapienia muszlowego (trias środkowy). Miąższość dolomitów dipoporowych dochodzi do 20 m, natomiast dolomitów kruszonośnych jest bardzo zmienna i zwykle mieści się w przedziale 20—30 m, a maksymalnie dochodzi do około 60 m.



Rys. 2. Mapa geologiczna rejonu odkrywki „Ujków”

Fig. 2. Geological map of the “Ujków” open-pit area

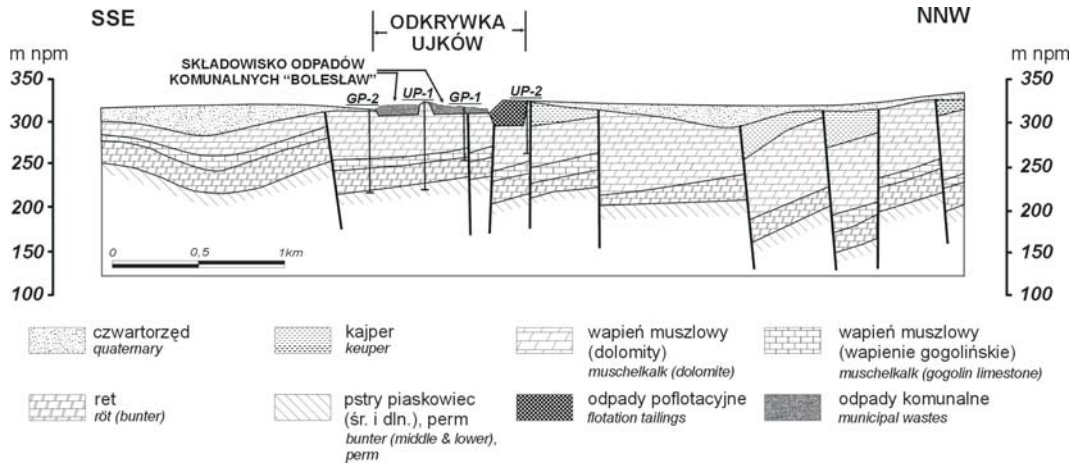
Dolomity diploporowe i kruszconośne są podścielone wapieniami warstw olkuskich i gogolińskich, należących do spągowej części wapienia muszlowego. Zwykle miąższość wapieni wynosi około kilkunastu metrów, jednakże miejscami dolomityzacja w całości objęła skały dolnego wapienia muszlowego i wówczas brak w profilu triasu wapieni olkuskich i gogolińskich. Pod utworami wapienia muszlowego występują dolomity górnego pstrego piaskowca — retu (dolny trias), których miąższość jest równa najczęściej około 30 m. Skały triasowe są podścielone zlepieńcami permu o bardzo zróżnicowanej miąższości, gdyż wypełniają one urozmaiconą powierzchnię erozyjną starszego podłoża.

W rejonie odkrywki „Ujków” dominuje dosyć skomplikowana tektonika uskokowa. Wprawdzie warstwy utworów triasowych zalegają prawie poziomo lub są nachylone pod niewielkimi kątami, ale złożony jest przebieg dyslokacji nieciągłych (rys. 2), ponieważ krzyżują się tu systemy uskoku przynależnych do różnych struktur tektonicznych, tzn. do rowu Olkusza, rowu Bolesławia i zrębu Olkusza. Uskoki mają niewielkie amplitudy zrzutu, najczęściej rzędu kilkunastu metrów. Ich przebieg w północnej części rozpatrywanego obszaru jest prawie równoleżnikowy, tzn. W-E, natomiast w jego środkowej i południowej części dyslokacje nieciągłe mają kierunki NW-SE. Towarzyszą im niewielkie uskoki o kierunku NE-SW (rys. 2).

W otoczeniu odkrywki „Ujków” występują dwa piętra wodonośne: czwartorzędowe i triasowe. We wschodniej części omawianego obszaru obydwie piętra są ze sobą połączone, tworząc jeden wspólny czwartorzędowo-triasowy kompleks wodonośny, natomiast w jego zachodniej części piętro czwartorzędowe bądź to nie występuje, albo praktycznie rzecz biorąc nie jest zawodnione. W północnej części obszaru badań wodonośne utwory czwartorzędowe i triasu są lokalnie rozdzielone niewielkim płatem ilastych utworów kajpru, co nie ma jednak większego znaczenia jeśli chodzi o tworzenie warunków przepływu wód podziemnych w tym rejonie. Piaski budujące czwartorzędowe piętro wodonośne są bardzo dobrze przepuszczalne, o czym świadczą wysokie wartości ich współczynników filtracji, najczęściej rzędu 10^{-4} m/s.

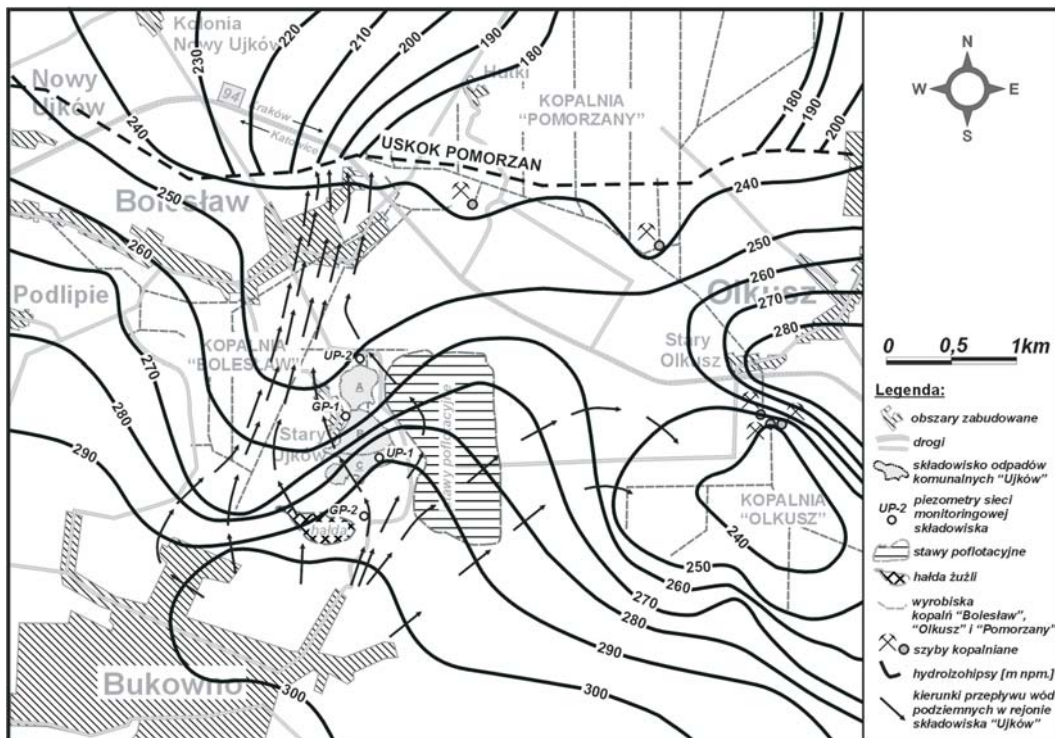
Wodonośne piętro czwartorzędowe jest zasilane przede wszystkim przez infiltrację opadów atmosferycznych. Jednakże ważnym składnikiem bilansu wodnego tego piętra jest zasilanie odciekami ze stawów, w których składowane są odpady poflotacyjne z przeróbki rud cynku i ołowiu. Na miejsce składowania są one transportowane w formie pulpy, będącej mieszaniną fazy stałej i ciekłej. Drenaż piętra czwartorzędowego odbywa się za pośrednictwem węglanowych utworów triasu, objętych zasięgiem leja depresji wokół wyrobisk górniczych olkuskich kopalń rud cynku i ołowiu.

Wodonośne piętro triasowe jest niejednorodne pod względem litologicznym. W górnej części budują go dolomity diploporowe i kruszconośne, w środkowej wapienie warstw olkuskich i gogolińskich, a w dolnej dolomity górnego pstrego piaskowca (retu). Współczynniki filtracji węglanowych skał triasowych, ze względu na ich charakter porowo-szczelinowo-kawernowy, mieszczą się w kilku rzędach wielkości. Dolomity diploporowe i kruszconośne mają najczęściej współczynniki filtracji około 10^{-4} m/s, przy maksymalnej wartości, stwierdzonej metodą próbnego pompowania, równej 5×10^{-3} m/s. Wapienie



Rys. 3. Przekrój geologiczny rejonu odkrywki „Ujków”

Fig. 3. Geological cross-section of the “Ujków” open-pit area



Rys. 4. Mapa hydroizohips piętra triasowego na 31 grudnia 1996 roku

Fig. 4. Map of the water table contours of the Triassic aquifer (31.12.1996)

środkowego triasu i dolomity dolnego triasu mają najczęściej współczynniki filtracji rzędu 10^{-5} m/s.

Warunki przepływu wody podziemnej w utworach wodonośnego piętra triasowego są kształtowane przede wszystkim przez głęboki drenaż górniczy. Trzy główne ośrodki drenażu: kopalnie „Bolesław”, „Olkusz” i „Pomorzany”, są położone blisko siebie (rys. 4). Najbliżej odkrywki „Ujków” znajduje się kopalnia „Bolesław”, obecnie zlikwidowana, ale jej szyb „Mieczysław” jest zamieniony na głębinowe ujęcie wód podziemnych, będąc nadal lokalnym ośrodkiem drenażu. W rejonie odkrywki „Ujków” wody podziemne w piętrze triasowym płyną generalnie z południa na północ. Przed zatopieniem kopalni „Bolesław” główna ilość wód podziemnych dopływała do jej wyrobisk, a część do wyrobisk kopalni „Pomorzany” (rys. 4).

Zasilanie wodonośnego piętra triasowego odbywa się przede wszystkim przez infiltrację opadów atmosferycznych na wychodniach węglanowych skał triasowych. Dodatkowym źródłem zasilania jest przesiąkanie odcieków ze wspomnianych wyżej składowisk odpadów. Możliwe jest też zasilanie piętra triasowego poprzez ascenzję wód podziemnych z węglanowych skał dolnego karbonu i dewonu w strefach uskokowych lub kontaktów hydraulicznych, opisanych m.in. przez Wilka i Motykę (1977). Ze względu na brak odpowiednich danych trudno oszacować udział ascenzji wody z paleozoicznego podłoża w zasilaniu triasowego piętra wodonośnego.

2. Czynniki kształtujące skład chemiczny wód podziemnych w rejonie odkrywki „Ujków”

Głównym czynnikiem kształtującym skład chemiczny wód podziemnych jest skład mineralogiczny skał otaczających. Stąd też wody piętra triasowego występujące w dolomitach i wapieniach były pierwotnie typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$. W rejonie odkrywki „Ujków” na skład chemiczny wód podziemnych w węglanowych skałach triasowych wpływa obecność wspomnianych wcześniej, różnorodnych ognisk zanieczyszczeń. Można je ogólnie podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne (Adamczyk Z. i in. 2000). Do ognisk zewnętrznych należą wszelkiego rodzaju składowiska odpadów stałych oraz wylewiska odpadów ciekłych. Ogniskami wewnętrznymi są natomiast produkty naturalnych procesów geochemicznych w górotworze, ale zainicjowanych działalnością człowieka.

W rejonie nieczynnej odkrywki „Ujków” występują wspomniane wcześniej, następujące zewnętrzne ogniska zanieczyszczeń:

- składowiska odpadów z flotacyjnego procesu wzbogacania rud cynku i ołowiu,
- składowiska odpadów z hutniczej produkcji cynku i ołowiu,
- zrehabilitowane składowisko odpadów komunalnych w południowej części odkrywki „Ujków”,
- ścieki bytowe i produkty działalności rolniczej.

2.1. Składowisko odpadów poflotacyjnych

W procesie wzbogacania rud cynku i ołowiu powstają odpady poflotacyjne, których podstawowym składnikiem jest rozdrobniony dolomit. W znaczących ilościach występuje w tych odpadach markasyt, a podrzędnie także kwarc, kalcyt, sfaleryt, cerusyt, anglezyt, galena oraz minerały ilaste (Adamczyk A., Haładus 1994). Na składowiska w sąsiedztwie odkrywki „Ujków” odpady te odprowadza się w formie półpłynnej, tzw. pulpy, z której po zdeponowaniu odcieka woda użyta do ich transportu. Część tych wód wsiąka w podłoże, a pozostała ilość jest odprowadzana do rzeki Białej, dopływu Białej Przemyszy. Składowiska odpadów poflotacyjnych zostały zlokalizowane w nieczynnych odkrywkach piasków podsadzkowych bez jakichkolwiek zabezpieczeń przed infiltracją odcieków do podłoża zbudowanego z piasków czwartorzędowych oraz z dolomitów i wapieni triasu. Według A. Adamczyka i A. Haładusa (1994) odcieki ze składowisk odpadów poflotacyjnych zawierają 1100—1800 mg/l siarczanów (SO_4), 0,4—47 mg/l cynku (Zn) i do 7,4 mg/l ołowiu (Pb). Ponadto stwierdza się podwyższone stężenia kadmu (Cd), miedzi (Cu), arsenu (As) i niklu (Ni). Aktualnie odcieki ze stawów odpadów poflotacyjnych (2003) zawierają średnio 1400 mg/l siarczanów (SO_4), 1,42 mg/l cynku (Zn) i do 0,32 mg/l ołowiu (Pb). Odczyn pH odcieków ze stawów poflotacyjnych, według danych z 2004 roku, mieścił się w przedziale 7,5—8,18, przy średniej wartości równej 7,86. Według szacunkowych obliczeń bilansowych do podłoża infiltruje około 5,0 m³/min. odcieków ze stawów poflotacyjnych, które migrują wraz z wodami podziemnymi do południowo-zachodniej i centralnej części kopalni „Pomorzan” oraz do zachodniej części kopalni „Olkusz”.

Wody infiltrujące ze składowisk odpadów poflotacyjnych wpływają na jakość wód podziemnych w piętrze triasowym. Ze względu na występowanie w odpadach poflotacyjnych produktów wietrzenia siarczków metali (głównie żelaza), infiltrujące do podłoża odcieki z tych składowisk wzbogacają wody podziemne w piętrach czwartorzędowym i triasowym w dodatkowy ładunek siarczanów, wapnia, magnezu oraz cynku, żelaza i ołowiu. W ślad za tym rośnie także ogólna twardość wody podziemnej.

2.2. Składowisko odpadów z pieców przewałowych

Na południowy zachód od nieczynnej odkrywki „Ujków” zlokalizowano składowisko odpadów z pieców przewałowych. Według szacunkowych obliczeń na hałdzie zgromadzono około 3 mln ton tych odpadów. Składają się one głównie z kalcytu, magnezytu dolomitu. Podrzędnie występuje w nich także sfaleryt, kwarc, cynkit, brucyt i wodorotlenki żelaza (Adamczyk A., Haładus 1994). Ze względu na zasadowy charakter tych odpadów i ich dobre właściwości buforujące względem kwaśnych roztworów, w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia, na hałdę odprowadzano kwaśne ścieki z Fabryki Kwasu Siarkowego przy ZGH „Bolesław”. Średnio na hałdę odpadów z pieców przewałowych wylewano 2—3 m³/min. ścieków o pH równym około 3 i zawartości siarczanów (SO_4) około

2500 mg/l. Proces buforowania kwaśnych ścieków na omawianej hałdzie i w jej podłożu, zbudowanym częściowo z dolomitów triasowych, doprowadził do znacznego wzrostu stężenia siarczanów i metali pod hałdą i w jej sąsiedztwie. Według A. Adamczyka i A. Haładusa (1994) infiltracja kwaśnych ścieków do podłoża powodowała wzrost zawartości siarczanów, przede wszystkim w wodzie zbiorczej, pompowanej szybem „Mieczysław” kopalni „Bolesław”. Aktualnie wstrzymano proces odprowadzania ścieków kwaśnych na hałdę żużlową w związku z wybudowaniem oczyszczalni ścieków kwaśnych w 1996 roku jak i modernizacją oczyszczalni przemysłowej w roku 1997.

2.3. Składowisko odpadów komunalnych

Odpady komunalne są składowane w nieczynnej odkrywce „Ujków”. Jej południowy sektor zapełniono odpadami komunalnymi, które następnie zostały przykryte warstwą ziemi i gleby oraz obsiane trawą i obsadzone drzewami. Skład chemiczny odcieków z tej części składowiska nie jest znany i nie ma możliwości jego zbadania. W związku z faktem, że w sektorze tym składowano odpady komunalne pochodzące z rejonu Olkusza można założyć, że ich skład jest analogiczny jak stwierdzony dla odcieków z istniejącego składowiska w środkowym sektorze odkrywki „Ujków”.

W sektorze środkowym są aktualnie składowane odpady komunalne przez Zakład Gospodarki Komunalnej w Bolesławiu. Zabezpieczenie tego sektora odkrywki przed wnikaniem szkodliwych odcieków do podłoża zostało wykonane zgodnie z obowiązującymi wymogami ochrony środowiska. Dno i ściany odkrywki uszczelniono folią i iłem, a odcieki zbiera się do studzienki zbiorczej, z której są pompowane i przesyłane do oczyszczalni ścieków. Skład chemiczny tych odcieków był badany od początku składowania odpadów, tj. od stycznia 1997 roku.

Pierwszą próbkę odcieków z folii zabezpieczającej pobrano przed rozpoczęciem składowania w dniu 29.01.1997 r. Wyniki analizy składu chemicznego tej próbki przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

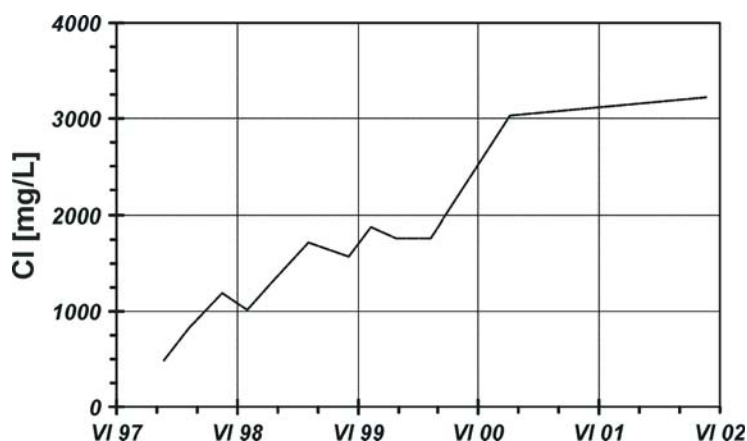
Skład chemiczny odcieków z folii przed rozpoczęciem składowania odpadów komunalnych w środkowym sektorze odkrywki „Ujków”

TABLE 1

Chemical composition of the landfill leachate before starting of the municipal waste deposition in the central part of the “Ujków” open-pit

EC [μS/cm]	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	B	Fe	Mn	Pb	Sr	Zn
		mg/l												
1029	6,70	209,4	67,8	3,5	2,23	105,4	652	7,37	<0,01	0,088	0,17	0,21	0,21	0,76

W zbadanych odciekach z folii przed rozpoczęciem składowania odpadów komunalnych zwraca uwagę podwyższona zawartość jonów siarczanowego, wapniowego i magnezowego, co powodowało, że były one typu $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$. Typ hydrochemiczny odcieków ukształtował się jako wynik wymywania minerałów siarczanowych, produktów wietrzenia siarczków. W miarę przyrastania masy odpadów komunalnych skład chemiczny odcieków wyraźnie ewoluował w czasie (rys. 5). W pierwszym rzędzie szybko wzrastało stężenie jonu chlorkowego (Cl), a w ślad za tym także jonów sodowego (Na) i potasowego (K). Ponadto szybko wzrastała alkaliczność mierzona zawartością jonu wodorowęglanowego (HCO_3), a także stężenie jonu amonowego (NH_4). Duży udział wymienionych jonów w odciekach ze składowisk odpadów komunalnych jest charakterystyczny także dla innych miejsc ich składowania (np. Vadillo i in. 1999). Spośród mikroelementów charakterystyczny był wzrost zawartości boru (B), żelaza (Fe), manganu (Mn) i glinu (Al). Syntetyczne wyniki analiz omawianych odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w odkrywcę „Ujków” zestawiono w tabeli 2. Uwzględniono także wynik analizy przytoczony w pracy Kłojzy-Karczmarczyk i in. (2003), wykonanej prawdopodobnie w 2002 roku (autorzy nie podali daty poboru próbki).



Rys. 5. Czasowe zmiany stężenia chlorków w próbkach wody z odcieku ze składowiska odpadów komunalnych „Ujków”

Fig. 5. Temporal changes of the chloride concentrations in water samples from landfill leachate

Wyodrębnienie charakterystycznych składników odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w odkrywcę „Ujków”, które mogą świadczyć o ich wpływie na jakość wód podziemnych w jego otoczeniu wymaga uwzględnienia właściwości geochemicznych środowiska skał węglanowych, wpływu innych ognisk zanieczyszczeń oraz trwałości danego składnika w środowisku o określonym potencjale utleniająco-redukcyjnym w podłożu składowiska. Nie ulega wątpliwości, że takim składnikiem są chlorki (Cl), potas (K), sól (Na) i jon amonowy (NH_4), a spośród mikroelementów bor (B).

TABELA 2

Średnie i ekstremalne wartości wskaźników jakości odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w odkrywce „Ujków” (lata 1997—2002)

TABLE 2

Average and extremes concentration values of the chemical constituents in leachate from “Ujków” open-pit landfill (1997—2003)

Wskaźnik	Jednostka miary	Ilość oznaczeń	Wartości			Odchylenie standardowe
			min.	max.	średnie	
pH	—	12	7,65	8,63	7,85	0,28
Wapń (Ca)	mg/l	13	16,0	229,7	95,8	66,9
Magnez (Mg)	mg/l	13	193,5	951,2	552,5	291,7
Sód (Na)	mg/l	14	237,2	1 992,0	1 005,5	620,3
Potas (K)	mg/l	16	701,0	3 030,0	1 258,8	580,8
Wodorowęglany (HCO ₃)	mg/l	7	3 966,0	13 420,0	9 012,0	2 881,0
Siarczany (SO ₄)	mg/l	16	26,3	1 557,0	419,7	416,3
Chlorki (Cl)	mg/l	16	476,8	4 240,0	2 005,0	1 014,1
Azotany (NO ₃)	mg/l	11	1,83	21,5	7,75	5,75
Azotyny (NO ₂)	mg/l	9	0,25	4,85	0,97	1,48
Amoniak (NH ₄)	mg/l	10	251,0	1 900,0	927,0	520,6
Bor (B)	mg/l	14	0,58	73,1	40,2	21,2
Mangan (Mn)	mg/l	15	0,29	18,9	2,21	4,70
Żelazo (Fe)	mg/l	16	1,43	35,2	6,28	8,41
Cynk (Zn)	mg/l	16	0,31	15,3	2,14	4,15
Stront (Sr)	mg/l	12	0,17	1,06	0,79	0,29
Bar (Ba)	mg/l	12	0,11	0,78	0,55	0,19
Ołów (Pb)	mg/l	16	<0,04	0,28	0,11	0,067
Glin (Al)	mg/l	6	1,05	1,83	1,49	0,29

2.4. Ścieki bytowe i ogniska zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego

Na zachód od odkrywki „Ujków” znajdują się dwa obszary o skupionej zabudowie. Są to miejscowości Bukowno i Bolesław, będące jednocześnie siedzibami gmin. Gospodarka wodno-ściekowa jest w nich w zasadzie nieuporządkowana. Ponieważ w przewodzie zostały

one zbudowane na wychodniach węglanowych skał triasowych, wnikają do nich zanieczyszczenia z nieszczelnych szamb i gnojowników. W niektórych miejscach ścieki bytowe i gnojowica są odprowadzane bez żadnej kontroli rowami do cieków powierzchniowych lub infiltrują do podłoża.

Na szerszą skalę nie wykonuje się badań monitorujących wpływ złej gospodarki wodno-ściekowej na jakość wód podziemnych w omawianym obszarze. Jednak wyniki analiz chemicznych sporadycznie pobieranych próbek wody ze źródeł na południe od Bukowna–Starej Wsi (północno-zachodnie peryferie Bukowna) już w latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia wykazały stężenia azotanów (NO_3) od 40 do ponad 50 mg/l (Zuber 1964). W 1996 roku w tych samych źródłach zawartości azotanów zbliżyły się do 60 mg/l, a w roku 1998 do 70 mg/l, a więc daje się zauważyć pewna tendencja wzrostowa, do której przyczynia się wzrost liczby mieszkańców w Bukownie–Starej Wsi. W zachodniej części Bukowna, w próbkach wody z piezometrów UP-6 i UP-7 stwierdzono w 1996 roku stężenia azotanów sięgające około 20 mg/l, a w źródłach w przysiółkach Polis i Podpolis (południowo-wschodnie peryferie Bukowna) zawierające się w przedziale od 1,5 do 11 mg/l, mimo słabego zaludnienia obszarów zasilania tych źródeł i zdecydowanej przewagi kompleksów leśnych na tym terenie.

Mimo skąpego materiału dokumentacyjnego nie ulega wątpliwości, że nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa w rejonie olkuskim, którego częścią jest rozpatrywany obszar, ma niekorzystny wpływ na jakość wód podziemnych, przejawiający się wyraźnym wzrostem stężenia azotanów w wodach podziemnych.

3. Omówienie wyników badań

Jakość wód podziemnych w węglanowych utworach triasu jest monitorowana w czterech piezometrach: UP-1 i UP-2 od 1993 roku oraz GP-1 i GP-2 od roku 1996 (rys. 4). Wyniki badań stężeń wybranych składników próbek wody pobranych z wymienionych piezometrów do końca 2003 roku zestawiono w tabeli 3.

Wody podziemne w węglanowych skałach triasowych w rejonie odkrywki „Ujków” są bardzo zanieczyszczone. Próbki wody pobrane w poszczególnych piezometrach sieci monitoringowej wykazują odmienną skład chemiczny, która jest najwyraźniej widoczna biorąc pod uwagę stężenia chlorków i siarczanów (rys. 6).

W piezometrze GP-1, znajdującym się bezpośrednio na północ od odkrywki, ogólna mineralizacja wody sięgała 2250 mg/l. Spośród głównych jonów dominowały siarczany, wapń i magnez, a w mniejszym stopniu wodorowęglany (tab. 3). Stąd też woda z tego piezometru była początkowo typu $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, a w późniejszym okresie typu $\text{SO}_4\text{-Mg-Ca}$. Zawartości azotanów i boru były niewielkie i wynosiły odpowiednio od poniżej 0,02 do 0,2 mg/l jonu NO_3 oraz od poniżej 0,01 do 0,35 mg/l jonu B. Natomiast stężenia jonu amonowego mieściły się w przedziale od 0,2 do 1,73 mg/l. Zwraca uwagę podwyższona zawartość jonów: chlorkowego, sodowego i potasowego (tab. 3).

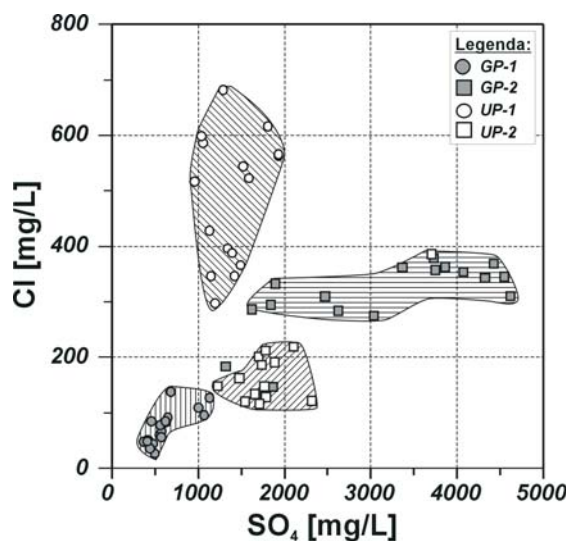
TABELA 3

Zakres zmienności stężeń wybranych składników w wodach podziemnych piętła triasowego w otoczeniu odkrywki „Ujków” (do końca 2003 r.)

TABLE 3

Range of the selected constituents in Triassic aquifer groundwater samples in the vicinity of the “Ujków” open-pit landfill (until the end of 2003)

Piezo- metr	Okres badań	Ca	Mg	Na	K	NH ₄	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	B
GP-1	1996–2003	106,0–346,7	37,8–157,8	17,6–82,6	14,1–71,0	0,20–1,73	109,0–392,6	401,0–1122,5	17,7–138,3	<0,1–0,2	<0,01–0,35
GP-2	1996–2003	207,6–694,7	213,6–1018,5	61,2–496,4	34,8–220,4	0,85–6,02	61,0–544,9	1313–4810	140,1–392,3	<0,1–4,1	0,14–1,1
UP-1	1993–2003	51,1–483,0	62,2–349,8	189,9–637,0	246,6–474,1	5,75–62,53	262,0–1083,4	1116,3–2306	255,0–682,0	13,3–101,2	2,0–7,11
UP-2	1993–2003	251,5–593,6	80,1–802,6	14,5–194,7	3,7–169,8	0,4–2,67	28,7–583,4	544,0–3705	15,1–386,4	<0,1–1,0	0,07–0,71



Rys. 6. Zróżnicowanie stężeń chlorków i siarczanów w próbkach wody z piezometrów GP-1, GP-2, UP-1 i UP-2

Fig. 6. Chloride and sulphate concentration differences between water samples from monitoring piezometers GP-1, GP-2, UP-1 and UP-2

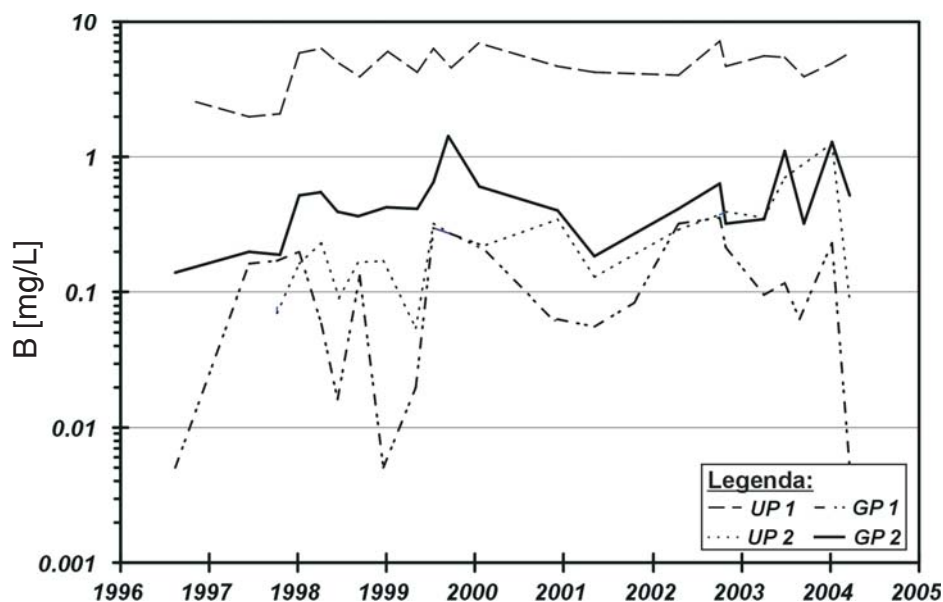
W próbkach wody z piezometru GP-2 stwierdzano mineralizację ogólną dochodzącą do około 9300 mg/l, przy czym zdecydowanie dominowały jony siarczanowy, wapniowy i magnezowy (tab. 3), dzięki czemu woda z tego piezometru była typu $\text{SO}_4\text{-Mg-Ca}$ lub $\text{SO}_4\text{-Mg}$. Stężenia chlorków, sodu i potasu były stosunkowo wysokie, dochodząc do paruset mg/l (tab. 3). Zawartość azotanów i boru mieściła się w przedziale, odpowiednio od 0,03 do 4,1 mg/l NO_3 oraz od 0,14 do 1,1 mg/l B, natomiast jon amonowy występował w ilościach od 0,85 do 6,02 mg/l.

Ogólna mineralizacja wody pobieranej z piezometru UP-1, położonego między południowym a środkowym sektorem odkrywki „Ujków” sięgała około 4500 mg/l. Ze względu na podobny udział poszczególnych głównych składników była to woda wielojonowa typu $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl-Mg-Na-Ca}$ lub rzadziej $\text{SO}_4\text{-Cl-Na-Mg-K}$. W wodzie z tego piezometru stężenie jonów: chlorkowego, sodowego i potasowego jest najwyższe w stosunku do pozostałych punktów monitorowania jakości wód podziemnych w omawianym obszarze. Również wysoka była zawartość jonu amonowego, azotanów i boru, sięgając odpowiednio 62,5 mg/l NH_4 , 101,2 mg/l NO_3 oraz 7,1 mg/l B (tab. 3).

Woda pobierana z piezometru UP-2 miała mineralizację ogólną dochodzącą do 3400 mg/l. Dominowały w niej siarczany i wodorowęglany oraz jony wapnia i magnezu, dzięki czemu woda była typu $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ (rys. 6). W późniejszym okresie typ wody zmienił się na $\text{SO}_4\text{-Ca-Mg}$. Stężenia chlorków oraz sodu i potasu osiągały dosyć wysokie wartości, rzędu paruset mg/l. Zawartość jonu amonowego mieściła się w przedziale od 0,4 do 2,67 mg/l, azotanów od poniżej 0,1 do 1,0 mg/l, a boru od 0,07 do 0,71 mg/l (tab. 3).

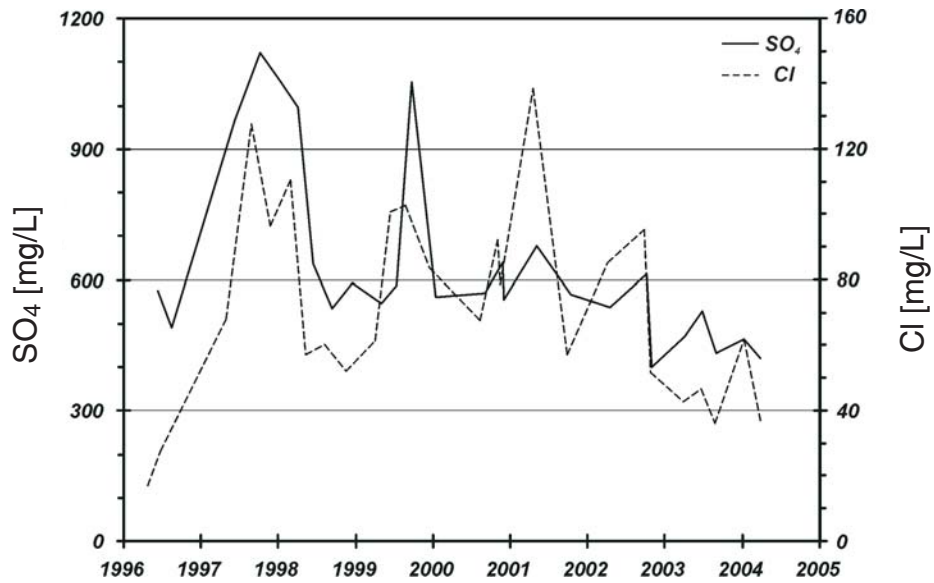
Czasowa zmienność stężeń składników wód podziemnych w piętrze triasowym w rejonie odkrywki „Ujków” podlegała zauważalnym prawidłowościom. Pokazano to na przykładzie zmian stężeń chlorków, siarczanów (rys. 8—11) i boru (rys. 7). W wodzie z piezometru GP-1 widoczne są wyraźne oscylacje zawartości chlorków o amplitudzie dochodzącej do kilku-dziesięciu mg/l, ale z dobrze widoczną tendencją malejącą w latach 1999—2004 (rys. 8). Siarczany po raptownym wzroście stężenia w latach 1997—1998 z około 500 do ponad 1100 mg/l wykazywały tendencję malejącą i w 2004 roku ich zawartość nieco przekraczała 400 mg/l. W przypadku boru trudno dopatrzeć się jakichkolwiek tendencji zmian stężenia tego mikroelementu przy widocznych, relatywnie dużych amplitudach wahań sięgających około 0,3 mg/l, przy maksymalnych stężeniach boru wynoszących około 0,35 mg/l (rys. 7).

W wodzie z piezometru GP-2 widać wyraźną tendencję wzrostu zawartości chlorków w latach 1996—1998 z ponad 100 mg/l do około 380 mg/l. Przy amplitudach wahań rzędu 150—200 mg/l średnie stężenie chlorków rzędu 300—350 mg/l utrzymywało się do 2004 roku (rys. 8). Jeśli chodzi o siarczany, to widoczne są dwie fale wzrostu i spadku ich stężeń. Pierwszy wzrost stężenia tego jonu, z około 2000 do ponad 4000 mg/l, nastąpił w latach 1997—1998, po czym zaznaczała się wyraźna tendencja spadkowa i w latach 2000—2002 stężenie siarczanów w wodzie z rozpatrywanego piezometru wróciło do poziomu około 2000 mg/l. Mniej więcej od połowy 2002 roku zawartość siarczanów ponownie zaczęła rosnąć, by z początkiem roku 2003 przekroczyć 6000 mg/l (rys. 9). Następnie zawartość siarczanów dosyć szybko zmalała do wartości około 4500 mg/l i na tym poziomie utrzymuje się do chwili obecnej. Stężenie boru wykazywało w latach 1996—1999 szybki



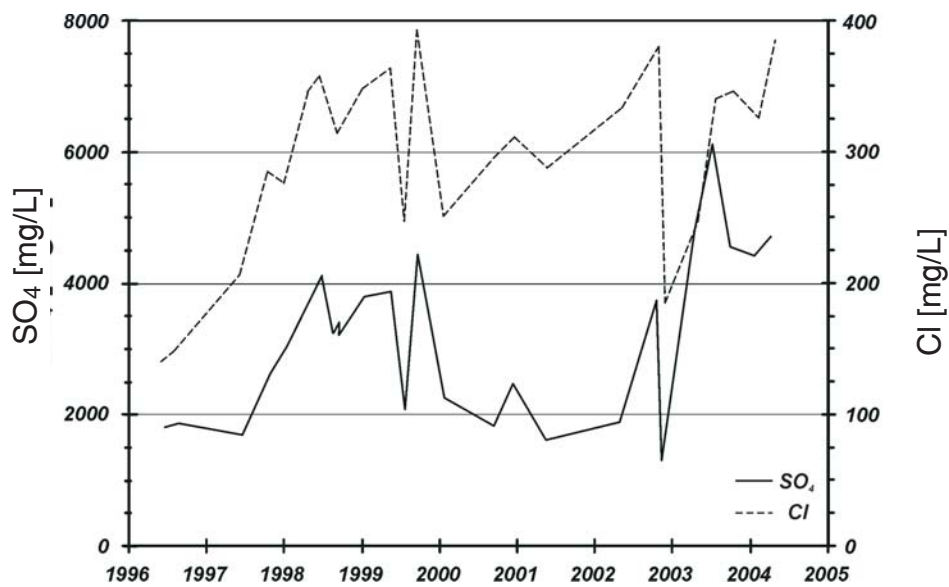
Rys. 7. Czasowe zmiany stężenia boru w próbkach wody z piezometrów GP-1, GP-2, UP-1 i UP-2

Fig. 7. Temporal changes of the boron concentrations in water samples from piezometers GP-1, GP-2, UP-1 and UP-2



Rys. 8. Czasowe zmiany stężenia siarczanów i chlorków w próbkach wody z piezometru GP-1

Fig. 8. Temporal changes of the sulphate and chloride concentration in water samples from GP-1 piezometer



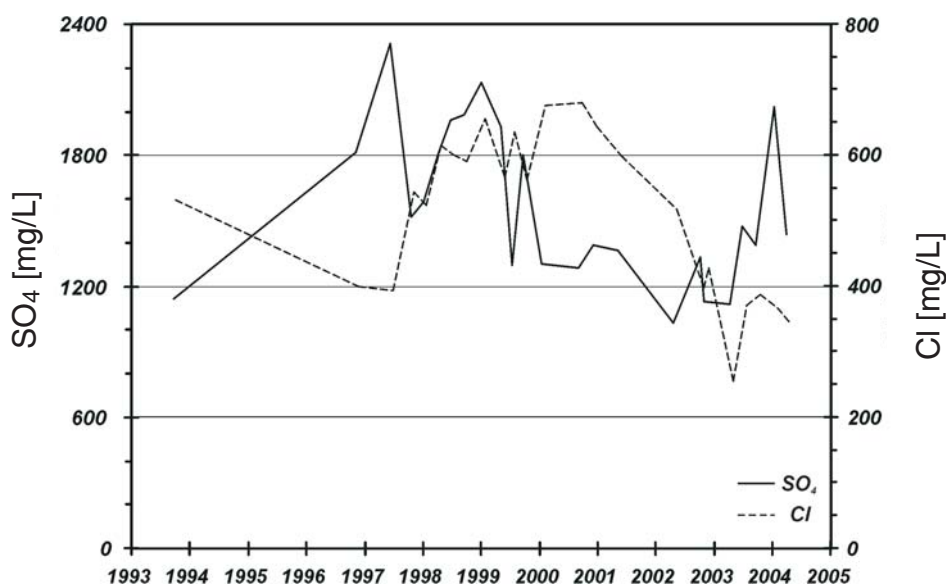
Rys. 9. Czasowe zmiany stężenia siarczanów i chlorków w próbkach wody z piezometru GP-2

Fig. 9. Temporal changes of the sulphate and chloride concentration in water samples from GP-2 piezometer

wzrost z wartości około 0,2 do ponad 1,4 mg/l, a następnie zmniejszyło się raptownie do wartości 0,2—0,6 mg/l. W końcowym okresie obserwacji, tj. w latach 2003—2004, stężenie boru wykazywało tendencję rosnącą z wartości 0,2—0,6 do 1,1—1,3 mg/l, ale przy amplitudach wahań rzędu 1 mg/l (rys. 7).

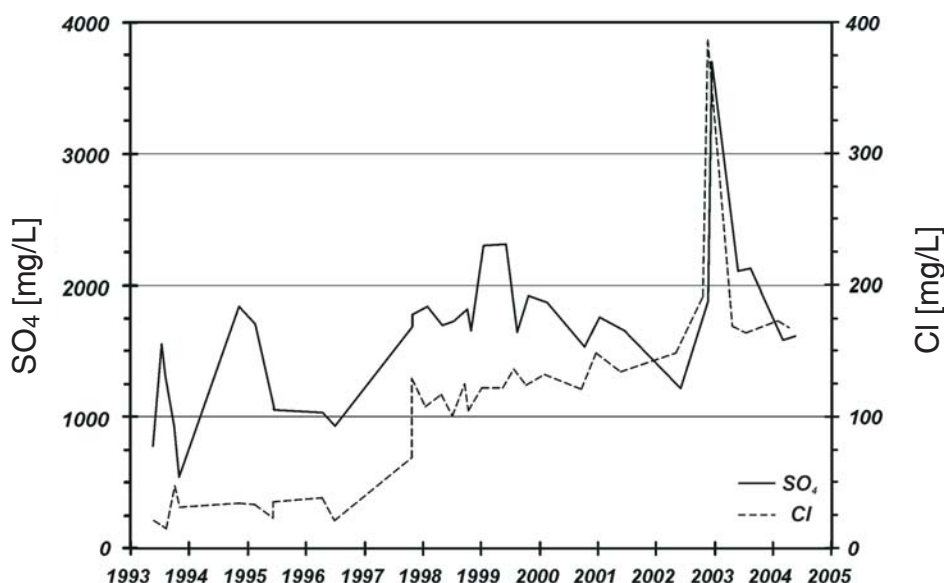
Stężenie chlorków w wodzie z piezometru UP-1 wykazywało w latach 1993—2000 tendencję wzrostową z rzędu 400—500 mg/l do około 700 mg/l. Następnie, do połowy 2002 roku zawartość jonu Cl szybko się zmniejszała, osiągając wartość nieco ponad 250 mg/l, a następnie ustabilizowała się na poziomie 300—400 mg/l (rys. 10). Ilość siarczanów w wodzie z rozpatrywanego piezometru osiągnęła maksymalną wartość ponad 2300 mg/l na początku 1998 roku, a następnie do połowy roku 2003 wykazywała tendencję spadkową do wartości 1100—1200 mg/l. W końcowym okresie badań zaznaczyła się tendencja wzrostu stężeń siarczanów do poziomu 1500—2000 mg/l (rys. 10). Należy zwrócić uwagę na stosunkowo wysoką zawartość boru w wodzie z piezometru UP-1 (tab. 3). W latach 1996—1997 była ona równa 2—2,5 mg/l, następnie wzrosła, oscylując między wartościami 4—7 mg/l, bez wyraźnej prawidłowości jeśli chodzi o tendencję (rys. 7).

W wodzie pobieranej z piezometru UP-2 do połowy 1996 roku stężenie chlorków było rzędu kilkunastu mg/l, po czym nastąpił szybki jego wzrost do około 130—150 mg/l i na tym poziomie utrzymywało się ono do kwietnia 2002 roku. Następnie zawartość jonu Cl skokowo zwiększyła się do około 390 mg/l i spadła do 160—170 mg/l (rys. 11). Stężenie siarczanów w wodzie z rozpatrywanego piezometru, przy amplitudzie wahań rzędu kilkuset mg/l, wykazywało w latach 1993—1999 tendencję rosnącą od 500 do ponad 2300 mg/l. Do kwietnia 2002 roku, przy amplitudzie wahań rzędu 200 mg/l, zmniejszyło się ono do



Rys. 10. Czasowe zmiany stężenia siarczanów i chlorków w próbkach wody z piezometru UP-1

Fig. 10. Temporal changes of the sulphate and chloride concentration in water samples from UP-1 piezometer



Rys. 11. Czasowe zmiany stężenia siarczanów i chlorków w próbkach wody z piezometru UP-2

Fig. 11. Temporal changes of the sulphate and chloride concentration in water samples from UP-2 piezometer

około 1200 mg/l, po czym skokowo wzrosło do ponad 3700 mg/l (listopad 2002 rok) i spadło do poziomu 2100 mg/l. Zawartość boru rosła systematycznie w latach 1996—2003 z około 0,02 do ponad 0,4 mg/l w kwietniu 2003 roku i 0,71 mg/l w lipcu tego samego roku (rys. 7).

4. Interpretacja wyników badań

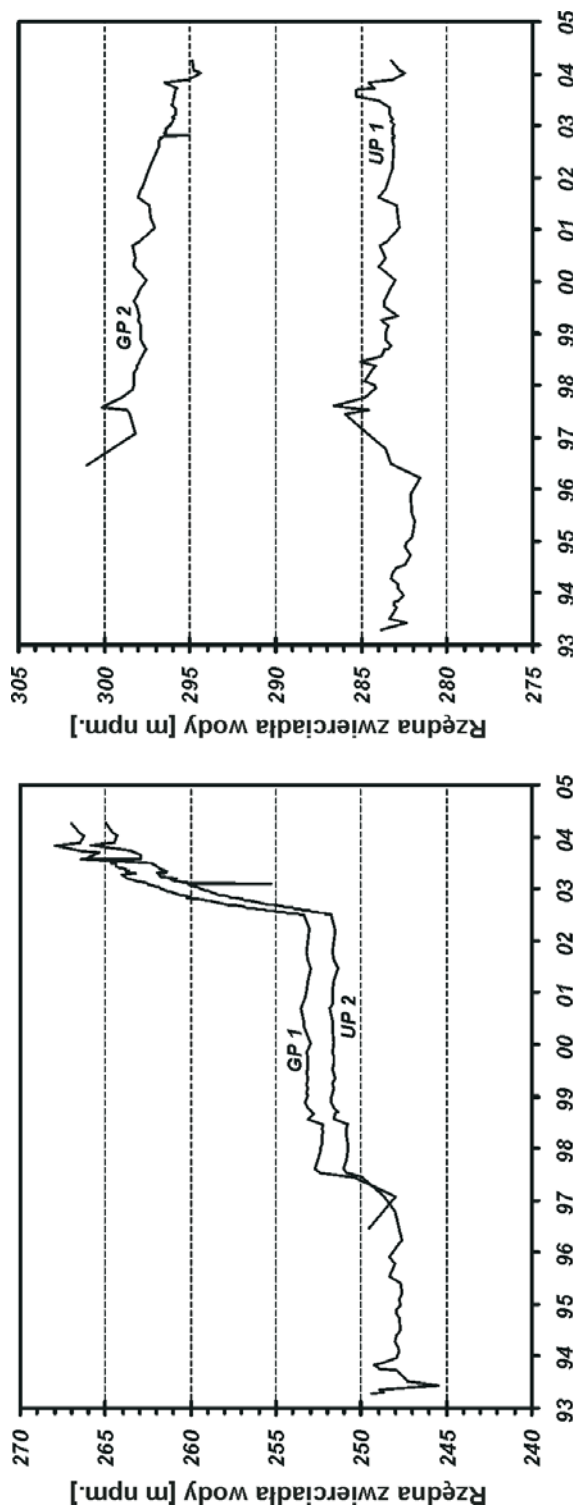
Wielość ognisk zanieczyszczeń w okolicy odkrywki „Ujków” bardzo utrudnia identyfikację pochodzenia składników degradujących jakość wód podziemnych piętra triasowego w jej otoczeniu. Podwyższone zawartości chlorków można wiązać z wpływem odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w południowym sektorze odkrywki „Ujków”, wykonanego bez zabezpieczeń, które by uniemożliwiały wnikanie tych odcieków do podłoża. Jeśli jednak rozpatrywać wpływ tego składowiska w skali większej niż tylko lokalnej, to trzeba także uwzględnić rolę ścieków bytowych, które przedostają się do podłoża wskutek wadliwej gospodarki wodno-ściekowej oraz występowanie w utworach permu, podścielających węglanowe skały triasowe, wód o podwyższonej mineralizacji (Adamczyk A.F. i in. 1978). Jednak podwyższone zawartości chlorków w próbkach wody pobieranych w punktach monitoringu lokalnego, tj. w piezometrach GP-1, GP-2, UP-1 i UP-2, są jednoznacznym dowodem wpływu odcieków ze składowiska komunalnego w południowym sektorze odkrywki „Ujków”. Potwierdzeniem tego są także duże ilości potasu, boru, wodo-

rowęglańców i związków azotu składników charakterystycznych dla odcieków z odpadów komunalnych (Bagchi 1990; Testa 1994; tab. 1).

Pochodzenie siarczanów w wodach podziemnych piętra triasowego jest trudne do jednoznacznej identyfikacji, gdyż są one poligenetyczne. Na ich stężenie wpływają wspomniane wcześniej zewnętrzne i wewnętrzne ogniska zanieczyszczeń. W rejonie piezometru GP-2 głównym źródłem siarczanów (SO_4) mogą być pozostałości po neutralizacji ścieków kwaśnych na hałdzie odpadów z pieców przepalowych. Piezometr ten jest zainstalowany w niedalekiej odległości od tej hałdy (rys. 1). Podwyższone zawartości chlorków dowodzą jednak, że pewna ilość siarczanów może pochodzić także z ocieków z rozpatrywanego składowiska odpadów komunalnych, w których stężenie tego jonu może sięgać 1000–2000 mg/l (Bagchi 1990; Testa 1994; Daniel 1995; Obrzut 1996; tab. 1). Bliskie sąsiedztwo składowiska odpadów popluczajnych daje podstawy do twierdzenia, że pewna ilość siarczanów dostaje się do wody podziemnej w otoczeniu piezometru GP-2 wraz z odciekami z tego składowiska. Siarczany mogą tu także pochodzić częściowo ze źródła endogenicznego, jakim jest rozpuszczanie produktów wietrzenia siarczków metali w młodej strefie aeracji przez wodę migrującą do strefy saturacji. W rezultacie działania tego procesu wydatnie wzrasta zawartość siarczanów, a także towarzyszących im kationów wapnia i magnezu.

Odbudowa zwierciadła wody podziemnej w górotworze, w którym znajdują się produkty wietrzenia siarczków metali również wywołuje efekt wzrostu stężenia siarczanów i towarzyszących im kationów. Przykład wzrostu zawartości siarczanów wraz z odbudową obniżonego wcześniej zwierciadła wody podziemnej w węglanowych utworach triasu został w rejonie olkuskim udokumentowany w ujęciu w Łazach Błędowskich (Adamczyk A.F. i in. 2000). W rejonie odkrywki „Ujków” nastąpiła częściowa odbudowa zwierciadła wody podziemnej w węglanowych skałach triasowych w związku z likwidacją kopalni rud cynku i ołowiu „Bolesław” i zatopieniem jej wyrobisk, które odbyło się w dwóch etapach. Pierwszy etap zatapiania kopalni rozpoczął się w maju 1997 roku, kiedy wyłączono odwadnianie jej wyrobisk na poziomie +225 m n.p.m., a wodę pompowano na poziomach +249 m n.p.m. i +265 m n.p.m. W rezultacie zaprzestania pompowania wody w kopalni „Bolesław” na poziomie +225 m n.p.m. oraz nałożenia się skutków katastrofalnych opadów, które nawiedziły południową Polskę w lipcu 1997 roku zwierciadło wody podziemnej w rejonie odkrywki „Ujków” podniosło się w piezometrach: GP-1 o ponad 6 m, GP-2 o prawie 0,5 m UP-1 o około 1,5 m i UP-2 o ponad 2,5 m.

Drugi etap zatapiania kopalni „Bolesław” rozpoczął się w lipcu 2002 roku i był dwustopniowy. W pierwszej fazie wyłączono pompownię na poziomie +249 m n.p.m., a na początku grudnia 2002 roku zastąpiono pompowanie stacjonarne w podszybiu szybu „Mieczysław” zainstalowanymi w nim pompami głębinowymi, podnosząc jednocześnie najniższą rzędną wody w szybie z +260 m n.p.m. do 265 m n.p.m. Po tych zabiegach zwierciadło wody w węglanowych skałach triasowych na północ od odkrywki „Ujków” podniosło się w ciągu niespełna 10 miesięcy — licząc od lipca 2002 roku — o około 9 m w piezometrze GP-1 i prawie 10,5 m w piezometrze UP-2. W piezometrze UP-1 poziom wody podziemnej nie uległ istotnej zmianie, a w piezometrze GP-2 nawet się nieznacznie obniżył (rys. 12).



Rys. 12. Wahania zwierciadła wody w piezometrach GP-1, GP-2, UP-1 i UP-2

Fig. 12. Water level changes in monitoring piezometers GP-1, GP-2, UP-1 and UP-2

Na stężenie siarczanów w wodzie podziemnej, monitorowanej w piezometrach GP-1, UP-1 i UP-2, w ustalonych warunkach hydrodynamicznych wpływały przede wszystkim odcieki ze stawów poflotacyjnych (tj. około 4—5% wód infiltrujących z stawów poflotacyjnych) infiltrujące do triasowego podłoża oraz proces wymywania produktów wietrzenia siarczków metali z odwodnionego górotworu. Pewna część ogólnego ładunku siarczanów pochodziła także z odcieków ze składowiska odpadów komunalnych w południowym sektorze odkrywki „Ujków”. Szczególnie dotyczy to piezometru UP-1, zainstalowanego najbliżej tego składowiska (rys. 4).

Obydwa etapy zatapiania wyrobisk kopalni „Bolesław” zaznaczyły się wzrostem stężenia siarczanów w wodzie podziemnej piętra triasowego w rejonie odkrywki „Ujków” (rys. 8—11). Zwiększenie się zawartości siarczanów było w tym przypadku spowodowane częściową odbudową zwierciadła wody w utworach triasu i rozpuszczaniem produktów wietrzenia siarczków metali, rozproszonych w węglanowych skałach triasowych. W wyniku pierwszego etapu zatapiania stężenie siarczanów wzrosło w wodzie pobieranej z piezometrów GP-1, GP 2, UP-1 i UP-2 od kilkuset do ponad 2000 mg/l. Natomiast w rezultacie drugiego etapu zatapiania kopalni „Bolesław” zawartość siarczanów zwiększyła się w piezometrach GP-2, UP-1 i UP-2 od około 1000 do ponad 2500 mg/l (rys. 8—11). W piezometrze GP-1, na tle ogólnego trendu malejącego, zanotowano chwilowy wzrost stężenia siarczanów o około 150 mg/l (rys. 8). Jest to o tyle trudne do wytłumaczenia, że w tym piezometrze odnotowano prawie 9-metrowy wznios zwierciadła wody podziemnej po zrealizowaniu drugiego etapu zatapiania kopalni „Bolesław” (rys. 12).

Podsumowanie

Identyfikacja źródeł pochodzenia składników degradujących jakość wód podziemnych w węglanowych skałach triasowych w rejonie odkrywki „Ujków” jest bardzo utrudniona z uwagi na skupienie dużej liczby ognisk zanieczyszczeń. Dotyczy to również odpadów komunalnych zdeponowanych w odkrywce „Ujków”. Dobrymi wskaźnikami wpływu odcieków z tego typu odpadów na środowisko wodne są chlorki, sól, potas i bor, a częściowo także związki azotowe.

Jakość wód podziemnych w rejonie odkrywki „Ujków” jest monitorowana w czterech piezometrach: GP-1, GP-2, UP-1 i UP-2 (rys. 1). We wszystkich piezometrach zaznaczył się wpływ odcieków z odpadów komunalnych, z tym, że najbardziej wyraźnie w wodzie pobieranej z piezometru UP-1, zainstalowanego pomiędzy sektorami A i B odkrywki „Ujków” (rys. 1). Objawem tego były podwyższone stężenia składników, charakterystycznych dla odcieków składowiskowych. Odnotowane wysokie zawartości siarczanów są związane przede wszystkim z innymi ogniskami zanieczyszczeń, takimi jak pozostałości po neutralizacji kwaśnych ścieków na hałdzie odpadów z pieców przewalowych, wpływ odcieków ze składowiska odpadów poflotacyjnych oraz wymywanie z górotworu produktów wietrzenia siarczków metali, głównie żelaza. Ten ostatni proces ujawnił się szczególnie

w następstwie stopniowej likwidacji kopalni rud cynku i ołowiu „Bolesław” i zatapiania jej wyrobisk, a w ślad za tym częściowej odbudowy pierwotnego zwierciadła wody podziemnej w jej otoczeniu.

Pracę zrealizowano w ramach badań własnych w Katedrze Górnictwa Odkrywkowego Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH; nr 10.10.100.958.

LITERATURA

- Adamczyk A., Haładus A., 1994 — Wpływ dużych ognisk zanieczyszczeń na wody podziemne w intensywnie drenowanym zbiorniku (S część GZWP 454 Olkusz–Zawiercie). W: Kleczkowski A.S. (red.) — Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. KBN — Projekt 9 0615 91 01, s. 133—154.
- Adamczyk A.F., Postawa A., Szwed E., 2000 — Zmiany jakości wód dopływających do ujęcia Łazy Błędownskie (trias). W: Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Mat. XIII Symp. nauk.-techn. pt. „Problemy eksploatacji ujęć wód podziemnych”. Częstochowa, 6—7 kwietnia 2000, s. 36—43.
- Adamczyk A.F., Motyka J., Wilk Z., Witczak S., 1978 — Słone wody w osadach permskich północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Roczn. Pol. Tow. Geol. 48, 1 s. 537—558.
- Adamczyk Z., Motyka J., Witkowski A., 2000 — Impact of Zn-Pb ore mining on groundwater quality in the Olkusz region. In: Proc. of the 7th Intern. Mine Water Assoc. Congress “Mine Water and the Environment”, Katowice–Ustroń, Poland, 11—15 Sept. 2000, p.27—37.
- Bagchi A., 1990 — Design, Construction and Monitoring of Sanitary Landfill. John Wiley & Sons, New York, 284 pp.
- Daniel D.E., 1985 — Geotechnical Practise for Waste Disposal. Chapman & Hall, London, 683 pp.
- Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., Czajka K., 2003 — Jakość odcieków a wybór charakterystycznych wskaźników zanieczyszczenia wód wokół składowisk odpadów komunalnych. Współcz. Probl. Hydrogeol. 11, 2, s. 423—426.
- Obrzut L., 1996 — Ochrona środowiska w świetle badań odcieków z wysypisk komunalnych. W: Mat. Ogólnopolskie Symp. pt. „Metody badań powietrza, wody i gleby wokół składowisk odpadów”, Inst. Fizyki Jądrowej, Kraków, 23 październik 1996, s. 134—143.
- Testa S.M., 1994 — Geological Aspects of Hazardous Waste Management. Lewis Publishers, Boca Raton, 537 pp.
- Vadillo I., Carrasco F., Andreo B., García de Torres A., Bosch C., 1999 — Chemical composition of landfill leachate in a karst area with a Mediterranean climate (Marbella, southern Spain). Envir. Geol. 37, 4, p. 326—332.
- Wilk Z., Motyka J., 1977 — Kontakty między poziomami wodonośnymi w olkuskim rejonie kopalnictwa rud. Roczn. Pol. Tow. Geol. 47, 1, s. 115—143.
- Zuber K., 1964 — Kompleksowe opracowanie hydrogeologii rejonu Olkusza. Archiwum Przeds. Geol. w Krakowie.

JACEK MOTYKA, ZBIGNIEW ADAMCZYK, MARIUSZ CZOP, KAJETAN D'OBYRN

GROUNDWATER QUALITY IMPACT BY MUNICIPAL SANITARY LANDFILL IN UJKÓW NEAR OLKUSZ (S POLAND)

Key words

Groundwater pollution, municipal solid waste, landfills, Ujków open-pit, Triassic aquifer, Olkusz region

Abstract

Analysis of the municipal sanitary landfill in Ujków (near Olkusz) influence on the Triassic aquifer groundwater quality has been delineated. Deficiency of the Ujków open-pit bottom isolation caused possibility of the landfill leachate percolation through fissured and karstic dolomites and limestones. Monitoring network of the municipal sanitary landfill in "Ujków" open-pit consists of 4 piezometers and also samples of leachate were collected. Data from monitoring research indicate serious groundwater pollution in the vicinity of the "Ujków" open-pit. Groundwater pollution is connected with increase of water samples mineralization and also concentration of the selected constituent: chloride, sulphate, sodium, potassium and boron, which are typical for municipal sanitary landfill leachate.