

*Bronisław Barchański**

LIKWIDACJA SKŁADOWISKA ODPADÓW NIEBEZPIECZNYCH NA PRZYKŁADZIE SMD KÖLLIKEN (SZWAJCARIA)**

1. Wprowadzenie

Po zakończeniu w 1978 r. eksploatacji w odkrywkowej kopalni gliny w Kölliken k. Zurychu władze gminy wyraziły zgodę na wykorzystanie wyrobiska poeksploatacyjnego w charakterze składowiska odpadów niebezpiecznych. W oparciu o istniejący wówczas stan prawny oraz znane rozwiązania techniczne, które gwarantowały bezpieczną eksploatację składowiska, założono np., że nie będą się wydzielaly gazy, a wyciek wód ze składowiska nie przekroczy 20 m³/rok.

Z dzisiejszego punktu widzenia z uwagi na:

- błędne rozeznanie geologiczne (bariera geologiczna w postaci resztek nie wyeksploatowanej gliny była nieuszczelna),
- dopuszczenie do składowania nieodpowiednich odpadów (np. łatwo rozpuszczalnych w wodzie soli),
- nieprzewidzenie możliwości biologicznego rozkładu niektórych odpadów składowanych w złych opakowaniach (np. worki) lub wręcz luzem,
- brak powierzchniowego zabezpieczenia składowiska przed wnikaniem do odpadów wody opadowej,

złożone w składowisku odpady (375 000 Mg) stały się bombą ekologiczną dla miasteczka i okolicy.

Ze składowiska do biosfery przenikało:

- ok. 500 m³/rok wysoko skażonych wód (eluatów), co było zagrożeniem dla rezerwaru pitnej słodkiej wody dla ok. 150 000 mieszkańców; zaobserwowano również umieranie ryb w okolicznych strumieniach;
- znaczna ilość gazów i uciążliwych zapachów oraz drobnoziarnistych pyłów.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Artykuł jest wynikiem prac prowadzonych w ramach projektu KBN Grant nr 18.25.100.923

W wyniku protestów lokalnej społeczności władze gminy Kölliken w roku 1985 zamknęły wypełnione w ok. 2/3 składowisko [1].

2. Prace zabezpieczające zlikwidowane składowisko

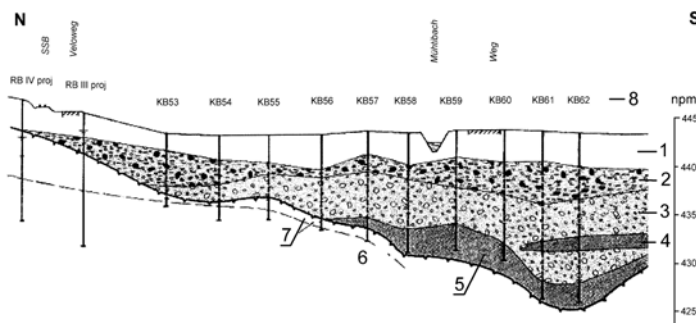
2.1. Uwarunkowania hydrogeologiczne składowiska odpadów

Składowisko było zlokalizowane w środku miasteczka Kölliken (rys. 1). Sytuacja hydrogeologiczna przedstawiona na rysunkach 2 i 3 była bardzo skomplikowana z uwagi na:

- zapadanie wodonośnych trzeciorzędowych warstw z północy na południe (*vide* rys. 2),
- przepływającą na północ od składowiska rzeczkę;
- zlokalizowany poniżej składowiska rów (10÷20 m głębokości, 100 m szerokości) z czwartorzędowym żwirem i wypełnionym wodą gruntową; rów ten ma połączenie hydrogeologiczne z rezerwuarem słodkiej wody pitnej (*vide* rys. 3);
- brak wodoszczelnego przykrycia składowiska.



Rys. 1. Lokalizacja składowiska odpadów niebezpiecznych w miasteczku Kölliken z naniesionymi podstawowymi elementami południowego systemu ujmowania skażonych wód [1]



Rys. 2. Przekrój geologiczny [3]: 1 — nadkład, 2 — drobnoziarniste mułki rzeczne, 3 — żwir Kölliken, 4 — warstwa niezidentyfikowana, 5 — utwory morenowe, 6 — niezwiertżala molasa, 7 — zwiertżala molasa, 8 — otwory wiertnicze systemu monitorującego

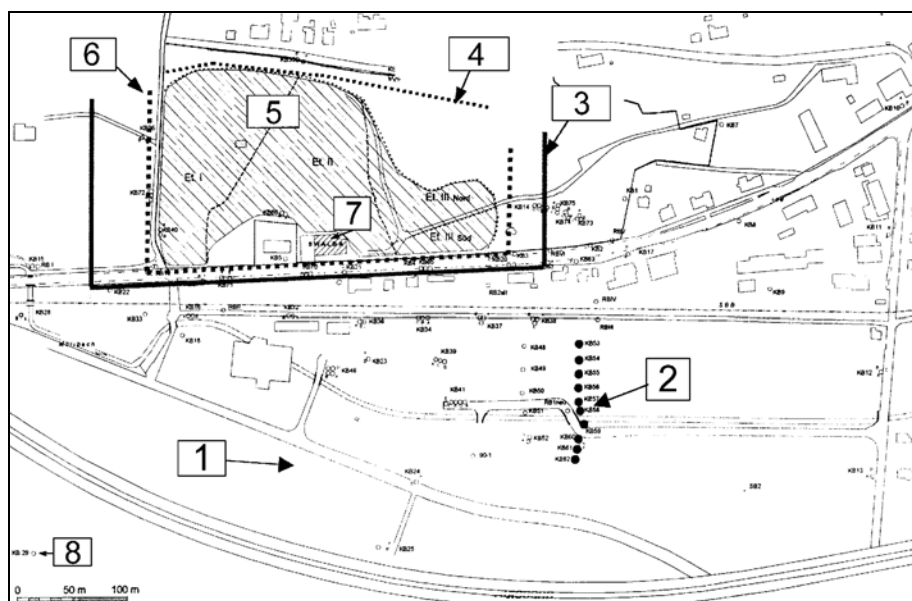
Po zamknięciu składowiska podjęto doraźne działania mające na celu zminimalizowanie istniejących dla środowiska zagrożeń.

2.2. Doraźne sposoby likwidacji zagrożeń

Po zamknięciu składowiska wywiercono 170 otworów monitorujących rozprzestrzenianie się skażonych wód (*vide* rys. 2 i 3). W oparciu o wyniki uzyskane w trakcie wiercenia otworów oraz prowadzony stale monitoring podjęto dalsze prace projektowo-badawcze oraz zabezpieczające składowisko.

Do prac tych można zaliczyć między innymi:

- wykonanie płytkiego rowu drenażowego od strony północnej składowiska do odprowadzania wód gruntowych i opadowych (nie skażonych) (*vide* rys. 3 poz. 4),
- przykrycie składowiska wodoszczelną warstwą mineralną z systemem drenów do odprowadzania wód opadowych oraz wydzielających się gazów,
- wykonanie tymczasowych ujęć do odprowadzania z korpusu składowiska skażonych wód.



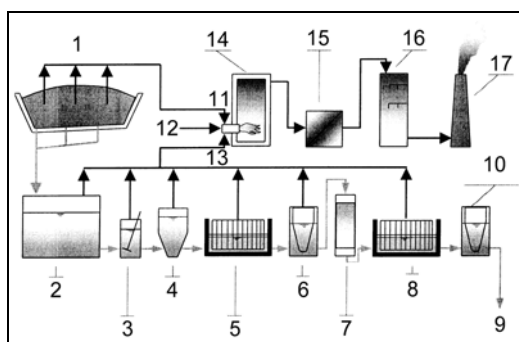
Rys. 3. System ochrony wód gruntowych przed skażeniem wyciekami (eluatami) [4]:

- 1 — rów z utworami czwartorzędowymi (żwir), 2 — studnie awaryjne, 3 — ścianka wodoszczelna (przewidziana projektem), 4 — rów drenażowy odcinający dopływ północny wód gruntowych do składowiska, 5 — składowisko odpadów niebezpiecznych, 6 — południowy system studni drenażowych (129 szt.), 7 — komora pomp SWALBA, 8 — otwory wiertnicze systemu monitorującego zlokalizowane głównie w południowej strefie odwadniania

W wyniku tych prac do roku 1994:

- skażone wody były przewożone cysternami do specjalnej przemysłowej oczyszczalni wód,
- szkodliwe gazy były spalane na miejscu w specjalnym piecu.

W roku 1994 wybudowano na terenie składowiska wg najnowszych technologii zakład utylizacji skażonych wód odciekowych. Rocznie oczyszcza się ok. 40 000 m³ skażonych wód. Oczyszczone wody zrzuca się do lokalnej kanalizacji. W zakładzie tym wybudowano również nowoczesną spalarnię wydzielających się ze składowiska gazów (rys. 4). Prowadzone równoległe kompleksowe prace badawcze wykazały, że bardzo realne jest skażenie pitnych słodkich wód w środkowej Szwajcarii. Z tego powodu podjęto kolejne prace projektowe i zabezpieczające składowisko głównie w aspekcie ochrony wód.



Rys. 4. Schemat ideowy utylizacji skażonych wód (eluatów) i gazów wydzielających się ze składowiska [4]: 1 — składowisko odpadów niebezpiecznych, 2 — zbiornik wycieków (eluatów) skażonych wód, 3 — dodawanie substancji koagulujących, 4 — zbiornik sedymentacyjny,

5 — oczyszczanie biologiczne (I etap), 6 — filtr, 7 — adsorpcja (węgiel aktywny), 8 — oczyszczanie biologiczne (II etap), 9 — zrzut oczyszczonej wody do kanalizacji miejskiej, 10 — końcowy etap filtracji, 11 — gaz odsysany ze składowiska, 12 — dopalacz (gaz ziemny), 13 — powietrze skażone, 14 — komora wysokotemperaturowego spalania, 15 — wymiennik ciepła, 16 — oczyszczanie gazów spalinowych, 17 — komin

2.3. Prace projektowe związane z długoterminowym zabezpieczeniem składowiska odpadów

W latach 1992–93 opracowano i zrealizowano dwa projekty zabezpieczające składowisko.

- 1) W utworach czwartorzędowego żwiru wywiercono 10 studni odwadniających (głębokość 7÷17 m, średnica $\phi = 600$ mm (*vide* rys. 5). W przypadku wykazania przez prowadzony monitoring otworów wiertniczych (170 szt.), że skażone wody (eluaty) ze składowiska migrują na południe, włączenie pomp ww. 10 studni ma wody te szczerpać poprzez utworzenie ochronnego leja depresyjnego.

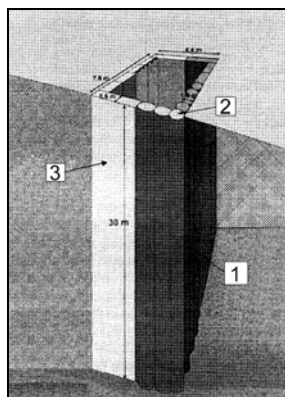
2) We wschodniej części składowiska zaprojektowano i wykonano stanowisko badawcze mające pomóc podjąć decyzję o ewentualnym wykonaniu ścianek wodoszczelnych wokół części składowiska. Ścianka ta miała mieć kształt litery U (vide rys. 3). Stanowisko badawcze (rys. 5) miało wymiary: głębokość 30 m, przekrój prostokątny ($7,6 \times 4,4$ m), i zostało wykonane w oparciu o następujące założenia projektowe:

- określenie stopnia urabialności utworów geologicznych do głębokości 30 m dla urządzeń frezujących lub wiercących z ustaleniem postępu robót;
- określenie przydatności mas uszczelniających w zadanych warunkach, jej różnorodności, czasu wiązania i przyrostu wytrzymałości;
- ustalenie aspektu ekonomicznego zaproponowanych rozwiązań.

Do wykonania wodoszczelnych ścian stanowiska badawczego wybrano dwie metody:

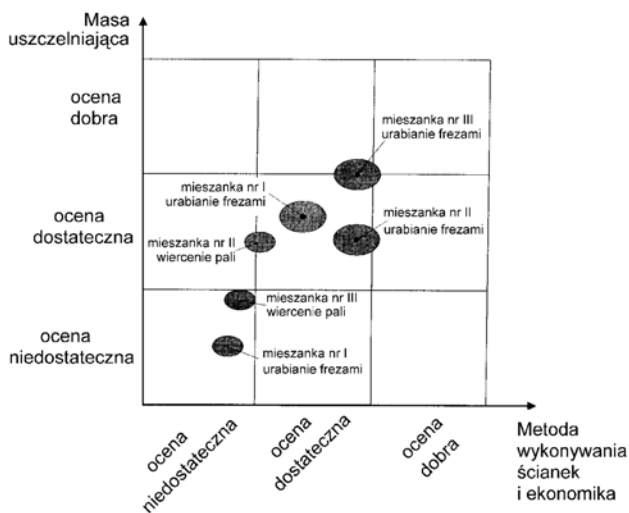
- 1) ścianki wykonywane za pomocą urządzenia frezującego o grubości ścianki $d = 600$ mm z zastosowaniem płuczek tixotropowych,
- 2) otwory wiertnicze o średnicy $\phi = 900$ mm wiercone na „sucho”.

Tworzywo wodoszczelnych ścianek przetestowano na trzech rodzajach mieszanek firmowych. Do realizacji tego projektu badawczego zgłosiło się 14 wykonawców, z których 8 przeszło kwalifikacje wstępne. Do ostatecznej realizacji powołano międzynarodowe konsorcjum, które zrealizowało projekt *in situ* według rysunku 5.



Rys. 5. Schemat ideowy stanowiska badawczego [2]: 1 — przekrój przez ściankę wykonaną z pali, 2 — pal wykonany w otworze wiertniczym o średnicy $\phi = 900$ mm, 3 — ścianka wykonana przez frez o grubości $d = 600$ mm

Wyniki ostatecznej oceny przydatności zaproponowanych rozwiązań w zależności od rodzaju mas uszczelniających, efektywności ekonomicznej i zastosowanej metody wykorzystania ścianek przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Ocena przydatności metod wykonania ścianek wodoszczelnych w projekcie pilotowym według rysunku 5 [2]

Wszystkie kryteria na pograniczu ocen „wystarczająco — dobrze” spełniła metoda wykonywania ścianki metodą urabiania urządzeniem frezującym + masa uszczelniająca typu trzeciego. Wynik ten nie dał jednak oczekiwanych gwarancji ochrony przed przedostaniem się skażonych wód do rezeruaru pitnych wód. Z tego powodu zrezygnowano z wykonania ścianek wodoszczelnych przedstawionych na rysunku 3.

Po dalszych kompleksowych badaniach oraz konsultacjach z Inwestorami (Gmina, Kanton, Następca Prawny Składowiska) podjęto decyzję o fizycznej likwidacji składowiska. Przedstawione powyżej prace badawcze, projektowe i wdrożeniowe dotyczące ww. rozwiązań kosztowały 140 milionów franków szwajcarskich.

3. Prace związane z ostatecznym zlikwidowaniem składowiska

3.1. Projekt odprowadzania wód z rejonu składowiska

Po decyzji o fizycznej likwidacji składowiska odpadów niebezpiecznych rozpoczęto prace projektowo-badawcze, a następnie wykonawcze związane z koniecznością kontrolowanego odprowadzenia wód z rejonu składowiska odpadów.

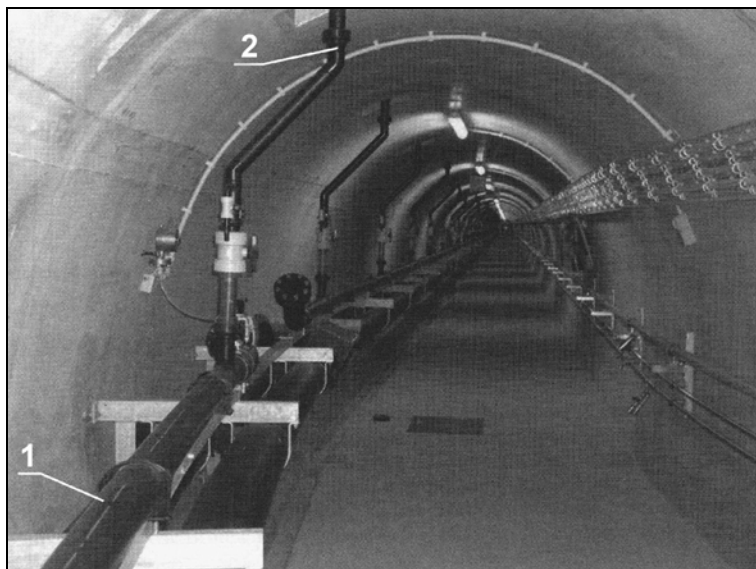
Północny system odprowadzania wód czystych

Zminimalizowanie dopływu wód gruntowych z terenów leżących na północ od składowiska oraz wód opadowych zbieranych przez system drenażowy zlokalizowany w wodo-

szczelnej warstwie uszczelniającej (przykrywającej) składowisko zostało zrealizowane przez zaprojektowanie i zbudowanie północnej bariery zabezpieczającej. Bariere tę stanowi rów odwadniający o długości ok. 400 m, głębokości 12 m i szerokości 6 m. Z systemem rur drenażowych usytuowanych w warstwie żwiru (*vide* rys. 3). Wody te, jako czyste, przejęte przez ten system są odprowadzane przez dwa rurociągi (wschodni i zachodni) do kanalizacji miejskiej. System ten łącznie z szybkami kontrolnymi funkcjonuje bezawaryjnie od roku 1997.

Południowy system odprowadzania wód skażonych pochodzących z wnętrza składowiska

Podjęta w 1998 r. decyzja o fizycznej likwidacji składowiska odpadów do roku 2012 (*vide* tab. 1) wymusiła zaprojektowanie i zrealizowanie południowego systemu drenażowego. System ten (rys. 3) składa się z chodnika zbiorczego o długości 600 m zlokalizowanego na głębokości 20 m (rys. 7). Dojście do chodnika umożliwiają dwa szybiki o średnicy $\phi = 3$ m i głębokości 20 m (*vide* rys. 1). W kierunku chodnika zbiorczego wywiercono 129 studni drenażowych co mniej więcej 4 m, o średnicy $\phi = 900$ mm z systemem filtrów. Studnie te są połączone z chodnikiem zbiorczym, w którym są zainstalowane trzy rurociągi na trzy rodzaje wód w zależności od stopnia ich skażenia. Wody w rurociągach są poprzez szybik odwadniający (głębokość 24 m, średnica 3 m) i system pomp zatłaczane do zakładu utylizacji SWALBA (*vide* rys. 1).



Rys. 7. Chodnik zbiorczy systemu drenażowego [3]: 1 — rurociągi odprowadzające skażoną wodę do zakładu utylizacji, 2 — połączenia studni drenażowych z rurociągami

Cała instalacja za kwotę 30 milionów franków szwajcarskich została oddana do użytku w październiku 2003 r. Równoległe z uruchomieniem ww. systemu 129 studni drenażowych i chodnika zbiorczego w położonym na południu rowie wypełnionym żwirem (*vide* rys. 3) wywiercono dodatkowo kilkadziesiąt otworów monitorujących stan i jakość wód gruntowych. Monitoring wykazał, że stan jest zadowalający, tzn. systematycznie spada stopień skażenia wód wyciekających ze składowiska oraz zmniejsza się przepływ (filtracja) tych wód w kierunku południowym. Tak więc zagrożenie skażenia wód pitnych zostało zażegnane.

3.2. Projekt ostatecznej likwidacji składowiska

Wprowadzenie

W roku 1999 ogłoszono konkurs na temat sposobu likwidacji składowiska. Międzynarodowe jury z grupy 63 propozycji wyłoniło cztery projekty. Autorzy tych projektów opracowali swoje propozycje, z których jedna została z końcem 2000 r. przyjęta do dalszych prac projektowych. Zgodnie ze stosownymi regulacjami prawnymi wszystkie wymagane procedury zostały zrealizowane i władze kontrolne wydały w czerwcu 2003 r. zgodę na przygotowanie planu technicznego fizycznej likwidacji składowisk do roku 2012. W czerwcu 2004 r. komunalne władze Kölliken wydały zgodę na rozpoczęcie prac związanych z realizacją projektu, tj. likwidacją składowiska.

Program przebiegu prac likwidacji składowiska

Planowane rozpoczęcie prac związanych z fizyczną likwidacją składowiska w roku 2006 (tab. 1) zostało poprzedzone budową trzech hal technologicznych:

- Hala nr I (o pow. 13 000 m²) — do likwidacji nadkładu, odpadów oraz skażonego podłoża składowiska. W tej hali, która będzie się „przemieszczała” ze wschodu na zachód, etapami (z góry w dół), będą za pomocą odpowiednich maszyn budowlanych z klimatyzowanymi kabinami dla operatorów usuwane odpady niebezpieczne (sypkie, w zniszczonych beczkach i workach). W tabeli 2 przedstawiono ilości odpadów oraz ich ostateczny sposób likwidacji.
- Hala nr II (o pow. 8800 m²) — do identyfikacji odpadów oraz ich segregacji i przepakowywania. Hala ta jest połączona szczelną przewiązką z halą nr I.
- Hala nr III (o pow. 5400 m²) — do magazynowania pojemników z poszczególnymi rodzajami odpadów. Z tej hali zgodnie ze sposobem ostatecznym utylizacji odpadów (*vide* tab. 2) odpady są przewożone na krótki dystans samochodami, a na dalszą odległość (np. do Podziemnego Składowiska Heilbronn RFN) pociągami.

Z uwagi na bardzo wysoką toksyczność odpadów znajdujących się w składowisku we wszystkich halach panuje podciśnienie, co ma uniemożliwić przedostawanie się trujących substancji na zewnątrz. Powietrze w halach jest przepuszczane przez specjalny system instalacji oczyszczających.

TABELA 1

Harmonogram prac związanych z ostatecznie likwidowanym składowiska odpadów niebezpiecznych [5]

Lata	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	■	■											
	3		■	■										
	4			■	▼									
	5				■	▼								
	6					■	▼							
	7				■	■								
	8				■	■	■							
11	9					■	■	■	■	■	■	■		
	10											■	■	
	12												■	■

1 — planowanie/projektowanie, 2 — opracowanie projektów koncepcyjnych i technicznych, 3 — procedura uzyskiwania stosownych zezwoleń, 4 — opracowanie projektu infrastruktury, 5 — opracowanie projektu usuwania odpadów, 6 — opracowanie projektu pobierania prób i analityki, 7 — opracowanie projektu zbiorczego dotyczącego wdrożenia ww. projektu, 8 — budowa infrastruktury (hale z wyposażeniem), 9 — prace związane z likwidacją fizyczną składowiska, 10 — likwidacja infrastruktury (hal), 11 — budowa i likwidacja poszczególnych obiektów, 12 — okres pełnej rekultywacji

TABELA 2

Ilości odpadów [Mg] oraz metody ich ostatecznej utylizacji [5]

Metoda utylizacji	I	II	III	IV	V	VI	VII	Suma	%
Nadkład	–	–	–	–	9,451	–	85,054	94,505	17
Odpady niebezpieczne	85,546	8,924	132,665	65,845	81,718	–	–	374,698	69
Skażone podłoże składowiska	–	–	15,252	–	22,879	38,131	–	76,262	14
Łącznie	85,546	8,924	147,917	65,845	114,048	38,131	85,054	545,465	100
%	16	2	26	12	21	7	16	100	

I — spalanie odpadów specjalnych, II — spalanie odpadów komunalnych, III — termiczna obróbka gleby, IV — składowisko podziemne odpadów specjalnych, V — składowisko odpadów komunalnych, VI — składowisko odpadów obojętnych (inertnych), VII — materiały pozostawione w rejonie składowiska

Po usunięciu wszystkich odpadów nastąpi demontaż hal. Pomiędzy latami 2012 a 2015 zostaną przeprowadzone prace rekultywacyjne. Wyrobisko po byłym składowisku zostanie zasypane czystym żwirem. Żwir zostanie przysypany glebą, a następnie poddany ostatecznej rekultywacji. Wszystkie prace mają być zakończone w 2015 r. Nakłady finansowe na ten etap prac (2002–2012) zostały wycenione na kwotę około 500 milionów franków szwajcarskich.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawiona w niniejszym artykule problematyka kompleksowej likwidacji składowiska odpadów niebezpiecznych wykazuje, że metodyka opracowana przez międzynarodową grupę ekspertów pod kierunkiem Szwajcarów jest oryginalna. Z uwagi na powstałe zagrożenia dla środowiska podjęto kompleksowe badania.

Na szczególne podkreślenie zasługują następujące przedsięwzięcia:

- rozpisanie międzynarodowych konkursów dla PT specjalistów, a następnie firm w celu opracowania optymalnego planu likwidacji powstałych zagrożeń;
- obiektywne przetestowanie *in situ* opracowanych projektów; charakterystyczny jest fakt dyskwalifikacji silnie lansowanej koncepcji budowy ścianek wodoszczelnych wokół składowiska;
- opracowanie i wdrożenie rozwiązań likwidujących bądź minimalizujących istniejące zagrożenia środowiska w fazie przed ostateczną likwidacją całego składowiska odpadów (system odwadniania i monitoringu, oczyszczalnia wód i spalarnia gazów);
- kompleksowe przygotowanie prac projektowych związanych z rozpoczęciem ostatecznej likwidacji składowiska odpadów przewidzianej na lata 2006–2012.

Na szczególne podkreślenie zasługują dwa zagadnienia:

- 1) konieczność uświadomienia społeczeństwu stopnia szkodliwości złych decyzji związanych z lokalizacją składowisk odpadów niebezpiecznych (np. możliwość zatrucia wód pitnych);
- 2) zdanie sobie sprawy przez społeczeństwo z konsekwencji finansowych dotyczących usunięcia skutków błędnych decyzji związanych z koniecznością całkowitej likwidacji składowisk odpadów niebezpiecznych; w przypadku składowiska Kölliken całkowite koszty wyceniono na sumę ok. 640 milionów franków szwajcarskich (ok. 1725 milionów PLN).

LITERATURA

- [1] *Barchański B.*: Informacje i materiały zebrane w trakcie pobytów studyjnych w „Konsortium Sondermülldeponie Kölliken, Schweiz” w latach 1999–2004
- [2] *Conrad R.*: Pilotierung einer Abschirmung für die Sondermülldeponie Kölliken. Rotterdam, Balkema 2000, 135–140
- [3] *Conrad R.*: Hydraulische Sicherung der SMD Kölliken/Schweiz. Essen, Verlag Glückauf 2004, 303–310
- [4] *Tardent J.*: Sanierungskonzept der Sondermülldeponie Kölliken. Rotterdam, Balkema 2000, 129–134
- [5] *Tardent J.*: Sanierungsprojekt zur Totalsanierung der SMD Kölliken/Schweiz. Essen, Verlag Glückauf 2004, 311–318