

Problemy budowy składowiska odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach

Lech Wysokiński*, Edyta Majer*

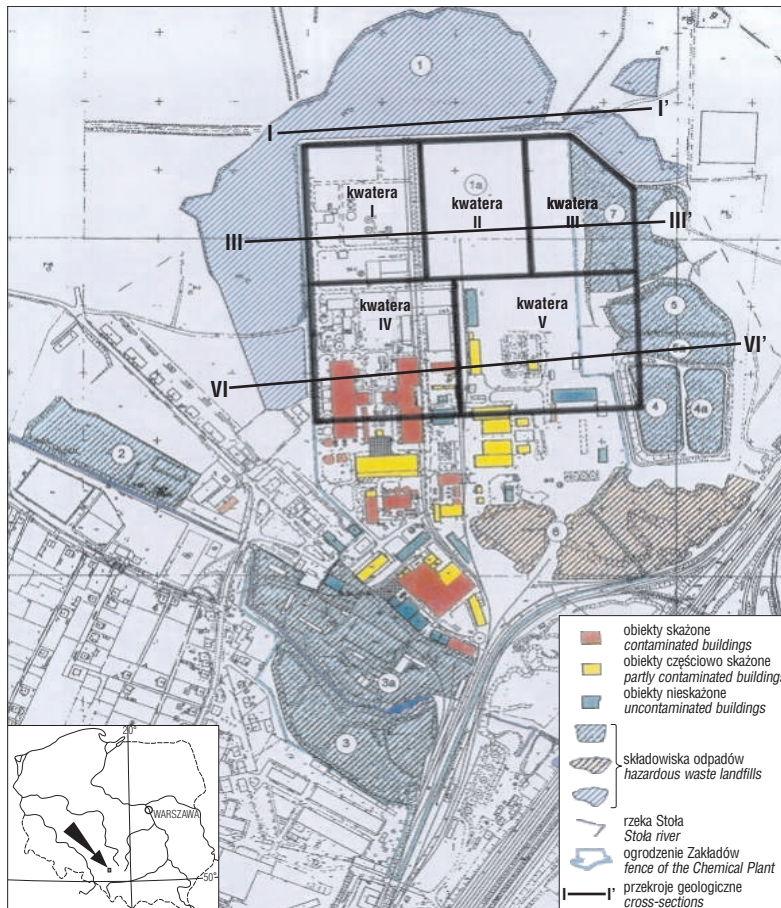
Problems related to the construction of hazardous waste landfill in Tarnowskie Góry (Upper Silesia, Poland). Prz. Geol., 50: 959–965.

S u m m a r y . In this paper, we present problems related to the construction of hazardous waste landfill in Tarnowskie Góry (Upper Silesia, Poland). Production lasting for several decades and lack of proper waste management resulted in pollution of underground water and soil in the vicinity of the Chemical Plant in Tarnowskie Góry. The scale of potential hazard is enormous. Continuous leaking of highly soluble compounds of barium and boron takes place from unsecured disposal pits. This pollution reaches the major groundwater basin — MGB Gliwice 330. It has been decided that this problem of Tarnowskie Góry will be solved by the construction of a disposal landfill, which will accommodate all waste. Five sectors are planned; their total area will be 16 ha. Until 2002, first sector (K1) has been completed and is already in use.

Key words: landfill, clay, soil properties, permeability, mineral liner, geological barrier, waste, groundwater

Zakłady Chemiczne (ZCh) Tarnowskie Góry zostały postawione w stan likwidacji z dniem 01.07.1995 r. po 73 latach działalności. Wybudowane w 1922 r. na terenie przemysłowym, na którym jeszcze przed ich powstaniem odbywała się produkcja hutnicza (czarna metalurgia), karbochemiczna, papiernicza i chemiczna. Obecnie ZCh zajmują powierzchnię około 68 ha (ryc. 1). W czasie swojej działalności gospodarczej były wielokrotnie modernizowane, a produkcja ulegała zmianom. W ostatnich 10 latach,

poprzedzających likwidację, do produkcji stosowane były substancje, które należały do trucizn i środków szkodliwych. Stosowane wówczas technologie nie były bezpieczne ani nastawione na minimalizację odpadów. Odpady, które powstały w wyniku wieloletniej działalności przemysłowej, są zgromadzone w różnej formie, w sposób nieuporządkowany na 10 składowiskach na terenie ZCh oraz w jego bezpośrednim sąsiedztwie (ryc. 1, tab. 1). Stały się one istotnym problemem zarówno ze względu na masę (360 tys. t), jak i brak środków na właściwe ich zagospodarowanie.



Ryc. 1. Plan Zakładów Chemicznych Tarnowskie Góry
Fig. 1. Map of the Tarnowskie Góry Chemical Plant

Skala zagrożeń dla środowiska i zdrowia ludzi

Działalność ZCh doprowadziła do silnego skażenia środowiska naturalnego. Brak właściwego zabezpieczenia składowisk i ciągłej bariery geologicznej oraz płytkie położenie zwierciadła wód gruntowych doprowadziło do ciągłego kontaktu zanieczyszczonych wód czwartorzędowych z chronionymi wodami poziomu triasowego.

Od 1990 r. prowadzony jest stały monitoring środowiska wokół zakładu. Szacuje się, że średnia prędkość rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w obszarze czwartorzędowego poziomu wód wynosi około 90 m na rok, natomiast w triasowym zbiorniku wód podziemnych około 10 m na rok. Łączna masa metali ciężkich wymywanych ze składowisk w ciągu roku wynosi około 400 t. Obecnie obserwuje się zwiększenie zawartości metali ciężkich w studniach triasowych położonych na południe od terenu ZCh. Zasięg skażenia wód podziemnych wokół zakładów jest szacowany na 2 km. Wielokrotne przekroczenia dopuszczalnych stężeń oraz kierunki i szybkość migracji zanieczyszczeń powodują bardzo duże zagrożenie ujęć wód z poziomu triasowego dla miasta Tarnowskie Góry (Borkiewicz i in., 1998).

*Zakład Geotechniki i Fundamentowania, Instytut Techniki Budowlanej, ul. Filtrów 1, 00-950 Warszawa

Tab. 1. Wybrane odpady znajdujące się na terenie ZCh Tarnowskie Góry
Table 1. Selected waste from Tarnowskie Góry Chemical Plant

Rodzaj odpadu	Według A	Według B
Azotan baru	trucizna	odpad niebezpieczny
Chlorek baru	trucizna	odpad niebezpieczny
Odpady z produkcji celulozy	środki szkodliwe	odpad niebezpieczny
Osady z oczyszczalni		odpad niebezpieczny
Siarczany miedzi i cynku		odpad niebezpieczny
Siarczek baru		odpad niebezpieczny
Sole metali ciężkich	środki szkodliwe	odpad niebezpieczny
Wodorotlenek baru	trucizna	odpad niebezpieczny
Związki arsenu	środki szkodliwe	odpad niebezpieczny
Związki baru (z wyjątkiem siarczanu i węgla)	trucizna	odpad niebezpieczny
Związki strontu	trucizna	odpad niebezpieczny
Gruz z wyburzeń, remontów i instalacji technologicznych		odpad niebezpieczny

A — Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej w sprawie wykazu trucizn i środków szkodliwych z dnia 28 grudnia 1963 r., Dz.U. Nr 2, poz. 9

B — Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikowania odpadów z dnia 24 grudnia 1997 r., Dz.U. Nr 162, poz. 1135

Wskaźniki zanieczyszczeń wód, które zostały przekroczone w 1997 r. w stosunku do wymagań dla klasy Ib jakości wód podziemnych, ukazuje tabela 2.

Związki chemiczne występujące w odpadach w sprzyjających warunkach, jakie panują na placu budowy, mogą łatwo wnikać do organizmów z wdychanym powietrzem przez drogi oddechowe, ze spożywaną żywnością i wodą

przez układ pokarmowy oraz przez skórę. Do najlepiej wchłanianych przez organizm ludzki należą wysokotoksyczne związki baru (chlorek, azotan i wodorotlenek). Wchłonięte jony baru przedostają się do krwi, a następnie zostają częściowo kumulowane w kościach, zębach oraz tęczówce oka. Przy narażeniu zawodowym na związki baru dochodzi często do występowania nadciśnienia, rza-

Tab. 2. Stwierdzone wartości przekroczeń maksymalnego dopuszczalnego stężenia w wodach podziemnych wokół Zakładów Chemicznych Tarnowskie Góry w 1997 r.

Table 2. Exceeded values of the highest acceptable concentration in groundwater around Tarnowskie Góry Chemical Plant in 1997

Wskaźnik	Liczba miejsc 5-krotnego przekroczenia maksymalnego dopuszczalnego stężenia w 25 otworach badawczych	Stwierdzona krotność maksymalnego stężenia wskaźnika w otworze	Miejsce poboru próby
Bar	12 piezometrów	1200	P-15/II
Bor	17 piezometrów, 1 studnia	565	P-18/II
Chrom og.	2 piezometry	10	P-3
Cynk	3 piezometry	55	P-16/II
Kadm	7 piezometrów, 2 studnie	926	P-15/II
Mangan	10 piezometrów, 2 studnie	527	P-15/II
Miedź	10 piezometrów	40	P-17/I
Nikiel	11 piezometrów	22	P-18/I
Ołów	2 piezometry	94	PQ-1
Potas	7 piezometrów, 1 studnia	15	P-15/II
Stront	7 piezometrów	61	P-18/I, P-18/II
Żelazo	9 piezometrów, 3 studnie	153	PT-2I
Azot amonowy	10 piezometrów	67	P-15/II
Azotyny	6 piezometrów	31	P-16/II
Chlorki	1 piezometr	9	P-15/II
Fluorki	1 piezometr	6	P-18/II
Fosforany	8 piezometrów	388	P-18/I
Siarczany	3 piezometry	8	P-18/I
Arsen	3 piezometry	1020	P-18/I

dziej do zaburzeń rytmu serca, migotania oraz do skurczu naczyń wieńcowych. Bar jest fizjologicznym antagonistą potasu, w związku z tym u ludzi narażonych na wysokie stężenia rozpuszczalnych związków baru mogą wystąpić objawy charakterystyczne dla niedoboru potasu. Do zatrucia lub podrażnienia błon śluzowych i skóry może dochodzić w sytuacjach, gdy ludzie wdychają pyły soli baru (Ocena..., 1996).

Mimo wykonania licznych badań skala skażenia środowiska i zagrożenia dla ludzi nie została dotąd dokładnie określona. Brak jest zwłaszcza opracowań syntetycznych, w tym badań i analiz medycznych. Nie jest jednoznacznie ustalone, ile z bardzo łatwo migrujących związków boru lub baru przedostało się do wód poziomu czwartorzędowego i triasowego i jakie są tego skutki dla populacji.

Podczas prowadzenia intensywnych robót w 2000 r. wykonano pomiary na terenie budowy, które wykazały przekroczenia dopuszczalnych stężeń baru i jego związków w powietrzu. Wywarło to wpływ na decyzję o obowiązkowym przebywaniu na terenie ZCh w maskach przeciwpyłowych. Z uwagi na tak wielkie zagrożenia, istniejące na tym terenie, konieczność ich likwidacji stała się priorytetem w trosce o środowisko i zdrowie mieszkańców Tarnowskich Gór i Śląska.

Przepisy prawne związane z problemem Tarnowskich Gór

Sprawę likwidacji zagrożenia środowiska i życia ludzi przez odpady niebezpieczne można rozpatrywać jako poszukiwanie dowolnej metody unieszkodliwiania, byle byłaby skuteczna, trwała i w miarę możliwości tania albo od razu budować składowisko „grób na odpady”. W przypadku Tarnowskich Gór postąpiono w ten drugi sposób.

W licznych krajach Unii Europejskiej i w USA istnieją przepisy prawne, które w sposób precyzyjny regulują warunki techniczne budowy składowisk odpadów niebezpiecznych i komunalnych (Dyrektywa Rady..., 1991; Dyrektywa Rady..., 1996; Empfehlungen..., 1997; Requirements..., 1989; Resource..., 1991; Technische Anleitung..., 1993). Możliwość interpretacji przepisów jest ograniczona ze względu na określenie w przepisach warunków technicznych budowy uszczelnień mineralnych składowisk odpadów, jak i metod badań. Takim polskim przepisem jest obecnie Rozporządzenie z dnia 21 października 1998 r., znowelizowane 5 marca 2001 r. oraz w przyszłości projektowane Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Rozporządzenie..., 2001).

Sformułowane w rozporządzeniu zasady, których należy przestrzegać przy projektowaniu konstrukcji mających na celu zabezpieczenie środowiska przed odpadami, powinny być traktowane tylko jako generalne wytyczne. Jednak ze względu na skalę przedsięwzięcia i sensowność rozwiązań zasady te nie mogą być dokładnie spełnione.

Ogólna charakterystyka budowy geologicznej

Pod względem geologicznym teren Tarnowskich Gór należy do monokliny śląsko-krakowskiej. W budowie geologicznej tego regionu biorą udział utwory należące do

triasu, jury i czwartorzędu, zalegające na utworach karbo-nu. Karbon reprezentowany jest przez łupki, piaskowce, zlepieńce oraz węgiel kamienny. Na utworach karbońskich zalegają osady triasu (pstry piaskowiec i wapień muszłowy). Pstry piaskowiec wykształcony jest w postaci piasków, ilów, ilów kaolinowych i żwirów, glin czerwonych i iłupków o pstrym zabarwieniu. Wapień muszłowy w rejonie ZCh *Tarnowskie Góry* reprezentowany jest głównie przez warstwy gogolińskie. W stropie warstw gogolińskich zalega kompleks skał określonych jako tzw. dolomity kruszonośne. Dolomityczno-wapienno-margliste skały triasu są silnie spękane, pocięte uskokami i poddane procesom krasowym. Całkowita miąższość utworów triasowych waha się od 150 do 250 m.

Na ściętej erozyjnie powierzchni utworów triasowych leżą osady dolnej jury w postaci utworów ilastych z wkładkami żwirów i zlepieńców, o miąższości zmiennej, do 50 m.

Na rozciętych przez procesy rzeczne i lodowcowe utworach triasowych i jurajskich zalega pokrywa utworów czwartorzędowych o miąższości od kilku do 50 m w strefie doliny kopalnej rzeki Stoły. Osady czwartorzędowe w rejonie Zakładów Chemicznych *Tarnowskie Góry* są wykształcone w postaci warstw piasków i żwirów fluwioglacjalnych, rozdzielonych płatami glin zwałowych, o miąższości od kilku do kilkunastu metrów. Osady przypowierzchniowe to silnie zanieczyszczone warstwy czwartorzędowych glin i piasków oraz grunty antropogeniczne w postaci odpadów poprodukcyjnych i nasypów budowlanych (Kompleksowe..., 1998b).

Warunki hydrogeologiczne

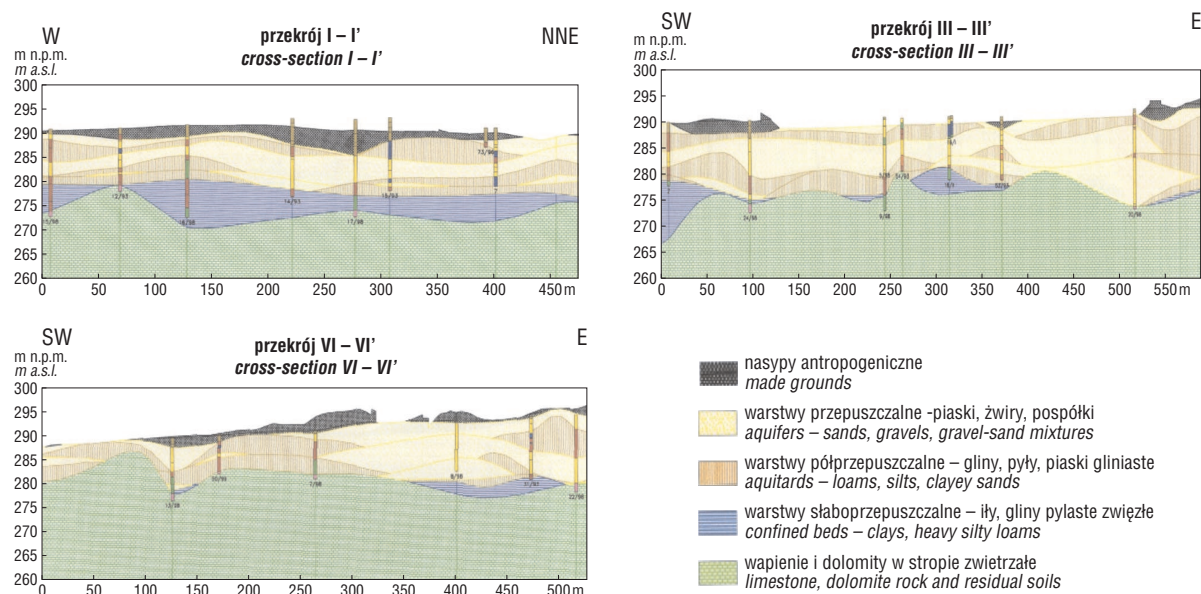
W rejonie ZCh wody powierzchniowe występują w odcinkach źródłiskowych rzek i potoków, natomiast będące z nimi w więzi hydraulicznej wody podziemne znajdują się w porowatych osadach czwartorzędu i szczelinowo-porowatych triasu. Wody podziemne należą w tym rejonie do głównych zbiorników wód podziemnych — GZWP nr 327 i 330.

ZCh zlokalizowane są na wododziale między zlewnią Stoły i zlewnią potoku Pa. Ze względu na takie usytuowanie spływ wód opadowych z centralnej części zakładów zachodzi w kierunku północnym do doliny potoku Pa i w kierunku południowym do doliny rzeki Stoły. Na terenie ZCh rzeka Stoła płynie w sztucznym korycie.

W rejonie ZCh *Tarnowskie Góry* wody podziemne występują w złożonym systemie hydrogeologicznym w dwóch piętrach wodonośnych: czwartorzędowym i triasowym.

Piętro czwartorzędowe obejmuje piaszczyste warstwy wodonośne i rozdzielające je warstwy glin zwałowych. Wodonośne serie piasków fluwioglacjalnych czwartorzędu zasilane są przez opady atmosferyczne oraz w przeszłości również przeciekami z kanalizacji deszczowej i przemysłowej ZCh.

Piętro hydrogeologiczne triasowe zawiera wody szczelinowo-porowe w warstwach wapieni i dolomitów wapienia muszłowego. Warstwy wodonośne triasu w północnym obrzeżeniu Górnego Śląska są najbardziej zasobnym w wodę piętrzem wodonośnym, intensywnie wykorzystywanym do zaopatrzenia przemysłu i ludności. Zasilanie tego piętra zachodzi pośrednio wskutek przesączania z nad-



Ryc. 2. Przekroje geologiczne z dokumentacji Citec S.A.
Fig. 2. Geological cross section according to Citec S.A.

ległych warstw wodonośnych czwartorzędu. Poziom wodonośny triasu jest głównym źródłem wód podziemnych w rejonie miasta Tarnowskie Góry. Zakłady Chemiczne *Tarnowskie Góry* położone są w strefie oddziaływania ujęć wód triasowych, usytuowanych na południe od zakładów. Zasięg leja depresji ujęć wody powoduje zmianę przepływu wody w poziomie triasowym z kierunku północno-wschodniego na południowo-zachodni. W rejonie położonym na południe od granic Tarnowskich Gór występuje główny zbiornik w utworach triasu, oznaczony jako GZWP nr 330 — gliwicki). Zbiornik ten ma zatwierdzone zasoby dyspozycyjne w wysokości 107 tys. m³/24 h, natomiast średnia głębokość ujęć wynosi w nim 120 m. Zasoby wodne poziomu triasowego w rejonie Tarnowskich Gór są zakwalifikowane do Obszaru Najwyższej Ochrony (ONO), wymagającego specjalnego zabezpieczenia przed źródłami zanieczyszczeń. Pozostałe zbiorniki wód podziemnych w rejonie Tarnowskich Gór są rozdzielone granicą wzdłuż działu wodnego w warstwach triasu. Granica ta jest przesunięta na północ w wyniku eksploatacji ujęć komunalnych w Tarnowskich Górach. Biorąc pod uwagę szczelinowy ośrodek wodonośny, rozwinięty w dolomitach i wapieniach triasu, zasięg oddziaływania tych ujęć jest uzależniony od systemów spękań i ma bardzo nieregularny przebieg. Można zatem zakładać w układzie regionalnym więź hydrauliczną wodonośnych poziomów czwartorzędu i triasu oraz piętrowy układ poziomów wodonośnych tworzących główne zbiorniki wód podziemnych.

Przestrzenny model warunków hydrogeologicznych w rejonie ZCh został opracowany przez PBG *Segi* i zamieszczony w wielotomowej dokumentacji firmy *Citec*. Sytuację hydrogeologiczną pod składowiskiem charakteryzują przekroje wybrane z dokumentacji hydrogeologicznej i geologiczno-inżynierskiej, wykonanej przez Przedsiębiorstwo Geologiczne *Geoprojekt* w czerwcu 1998 r. (Kompleksowe..., 1998b; ryc. 2).

Z obliczeń poczynionych na podstawie mapy podatności na zanieczyszczenia wynika, iż z podłoża składowisk wody infiltrujące transportują zanieczyszczenia do zasadniczego poziomu wodonośnego w czwartorzędzie w czasie od 108 dni do 7,4 lat; oczywiście pomijając miejsca, gdzie pod odpadami występuje bezpośrednio zawodnione podłoże i czas migracji do zwierciadła jest zerowy. Biorąc pod uwagę długi czas funkcjonowania ZCh, substancje zanieczyszczające od wielu lat docierają do wszystkich analizowanych warstw wodonośnych. Jest to potwierdzone wynikami analiz próbek wody, pobranych w ramach monitoringu i rozpoznania hydrogeologicznego. Obliczony czas przesączania pionowego do zwierciadła wody w utworach triasu na terenach składowisk mieści się w przedziale od 15 do 60 lat. Jedynie w części składowiska nr 3a jest znacznie krótszy i wynosi około 3 lat.

Koncepcja budowy składowiska

Projektowane składowisko będzie położone w obrębie ZCh, częściowo na terenie byłego składowiska odpadów oraz na obszarze po wyburzonych obiektach zabudowy przemysłowej (ryc. 1). Prace budowlane składowiska zostały rozpoczęte w 1997 r., a wstrzymane w 1998 r., celem stworzenia warunków do wypełnienia postanowień Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 21 października 1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. To samo dotyczy przerwy w 2001 r., związanej z wykonaniem projektu dostosowawczego, zgodnie ze znowelizowanym rozporządzeniem.

Według projektu budowlanego składowisko w Tarnowskich Górach ma zapewnić bezpieczne składowanie odpadów zgromadzonych na terenie ZCh. Składowisko zostało zaprojektowane jako nadpoziomowe, z podziałem na 5 kwatery. Kwatery będą docelowo tworzyć jedną bryłę, wyniesioną do 17 m powyżej powierzchni terenu (Projekt..., 1999).

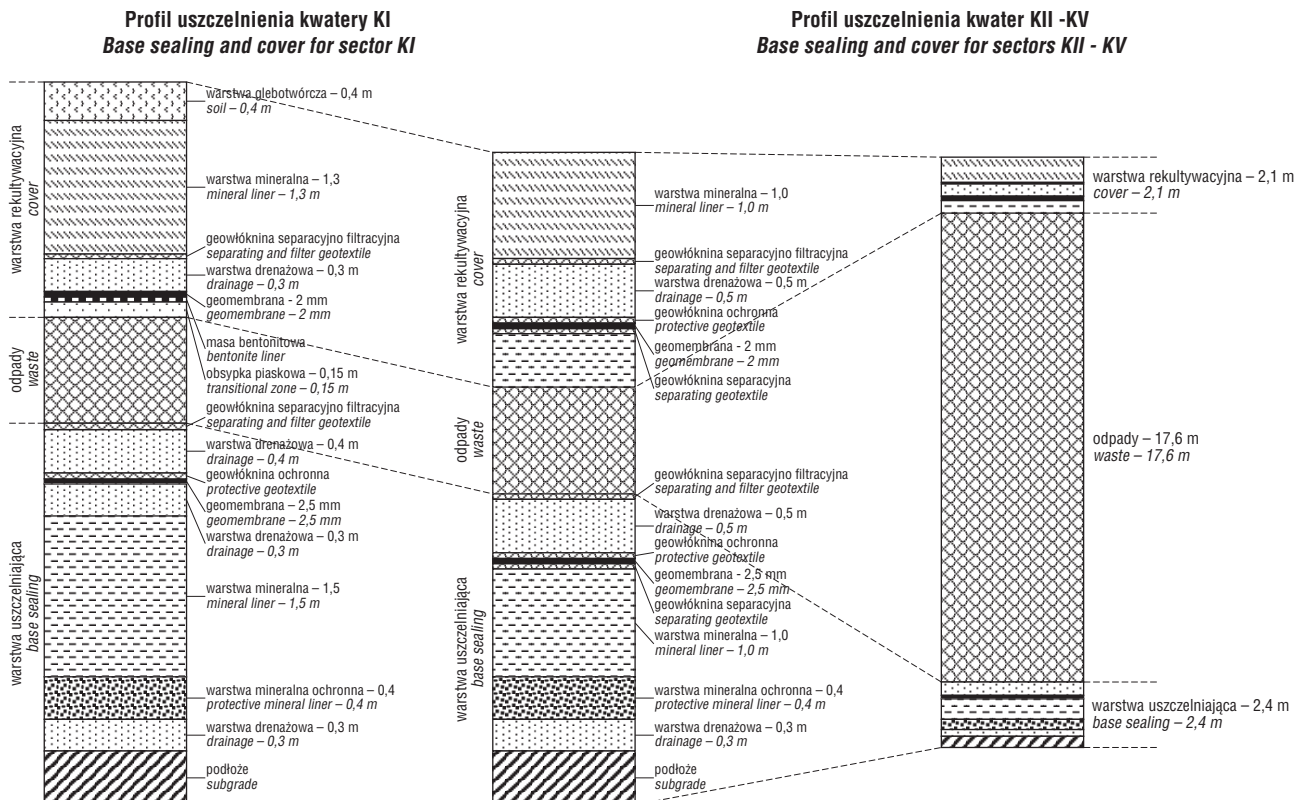
Posadowienie dna składowiska zaprojektowano poniżej gruntów nasypanych i odpadów, których miąższość wynosiła około 1 m. Przyjęte w projekcie budowlanym posadowienie dna składowiska będzie się znajdować co najmniej 1 m powyżej poziomu wód gruntowych. Całkowita powierzchnia składowiska będzie docelowo wynosić około 16,5 ha. Będzie ono otoczone wałem zewnętrznym, którego szerokość korony będzie wynosić 5 m. Skarpy zewnętrzne zaprojektowano z nachyleniem 1 : 2, wewnętrzne zaś z nachyleniem 1 : 3. Wysokość wału powyżej poziomu terenu będzie się zmieniać od 2,1 m do 4,0 m, średnia wysokość obwałowania to 2,5 m. W części zewnętrznej i środkowej skarpy zbudowane są z gruntu pochodzącego z wykopów. Skarpy wewnętrzne są wykonane z łu stosowanego do uszczelnienia podstawy składowiska. Poszczególne kwatery składowiska będą oddzielone wałami wewnętrznymi.

Dno składowiska jest nachylone ze spadkiem 0,65% w kierunku ze wschodu na zachód oraz 0,60% w kierunku z północy na południe. Zaprojektowane spadki dna nawiązują do naturalnego ukształtowania terenu i zostały przyjęte tak, aby zapewnić skuteczne odwodnienie terenu. Spadki w podłożu składowiska wynikają w pierwszym rzędzie z warunków hydraulicznych w warstwie odsączającej. Należy przyjmować duże spadki, w podłożu ok. 3% oraz ze względu na ewentualne deformacje co najmniej 1% spadku warstwy drenażowej. Spadki skarp składowiska należy projektować z uwzględnieniem wymagań stateczności skarp i technologii robót ziemnych oraz wymagań wynikających z konstrukcji izolacji. Z reguły nie wolno przekraczać pochylenia skarp rzędu $n < 1 : 2,5$, lepiej przyjmując $n < 1 : 3$.

Na rycinie 3 została przedstawiona konstrukcja uszczelnienia podłoża składowiska odpadów niebezpiecznych, przedstawiona w projekcie technologicznym opracowanym przez *Citec* w 1999 r. oraz w projekcie dostosowawczym z 2001 r. (Projekt..., 1999). Zmianom ulegała miąższość mineralnej warstwy uszczelniającej, rodzaj materiału użytego do uszczelnienia oraz liczba drenaży.

Po przeanalizowaniu materiałów geologicznych można stwierdzić, że na znacznej części terenu zakładu bariera geologiczna występowała w przeszłości, ale 70 lat przemysłowych przekształceń spowodowało jej zniszczenie. Ocena bariery geologicznej nie jest sprawą łatwą. Po pierwsze trzeba mieć właściwie udokumentowane warunki geologiczne na terenie zlokalizowanego składowiska i w jego otoczeniu. Następnie w skali mogącej mieć wpływ na problem co najmniej w promieniu 3 km od składowiska należy określić warunki hydrogeologiczne, kierunki spływu wód, okna hydrogeologiczne i współczynniki filtracji. Wszystkie te stwierdzenia prowadzą do wniosku, że mimo występowania znacznych miąższości izolacyjnych utworów ilastych między czwartorzędem a triasem, przy wymiarach składowiska około 400 x 400 m, nie ma bariery geologicznej pod tak zaprojektowanym składowiskiem. Sytuacja ta wymagała zaprojektowania mineralnej warstwy uszczelniającej dno i skarpy składowiska (Wysokiński, 1999).

Podstawowa warstwa uszczelnienia mineralnego kwatery KI została wykonana z łuów beidelitowych pochodzących z nadkładu KWB *Bełchatów*. Pierwotnie izolacja ta miała być wykonana z wysiewek dolomitowych, które nie spełniały podstawowych wymagań — nie miały właściwości gruntów spoistych (Wysokiński, 1998a). W chwili obecnej przewiduje się w projekcie budowlanym warstwę



Ryc. 3. Profile uszczelnienia składowiska odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach
Fig. 3. Variants of base sealing and cover for hazardous waste deposit in Tarnowkie Góry

izolacyjną o grubości 1,0 m. Profil uszczelnienia podany w projekcie dostosowawczym, wykonany przez *Citec*, może być akceptowany ze względu na nowe uregulowania prawne. Do budowy uszczelnienia dla kwater KII–KV zostaną wykorzystane ropy z Miasteczka Śląskiego.

Ustalono na poletku doświadczalnym parametry ropy z Belchatowa do wbudowywania w przesłone kwatery KI to: $w_{opt} = 21,79\%$ i $\rho_{ds} = 1,65 \text{ Mg/m}^3$. ropy takie mają współczynnik filtracji k w granicach $5 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ (Wysokiński i in., 2000a; Wysokiński i in., 2000b). W 2002 r. wykonano poletko doświadczalne dla dwóch wytypowanych rodzajów ropy z okolic Tarnowskich Gór (Wysokiński i in., 2002). Materiał pochodzący z Miasteczka Śląskiego pod względem granulometrycznym jest jednorodny. Z analizy areometrycznej wynika, że są to ropy pylaste praktycznie bez frakcji piaskowej. Współczynnik filtracji oznaczony w laboratorium wynosi $5,5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$, a w warunkach polowych ok. $4,0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ przy $w_{opt} = 25,00\%$ i $\rho_{ds} = 1,55 \text{ Mg/m}^3$. Tabela 3 zawiera porównanie parametrów badanych ropy uzyskanych z badań laboratoryjnych z wymienionymi zaleceniami w Instrukcji ITB nr 339–96 (Wysokiński & Łukasik, 1996).

Wymagania dotyczące materiałów stosowanych do izolacji mineralnej, według różnych zaleceń międzynarodowych oraz polskich, przedstawia tabela 4.

Najbardziej pożądaną właściwością mineralnej ropy uszczelniającej w złożonych systemach uszczelnień nie jest tylko niska wodoprzepuszczalność, ale głównie

zdolność do absorbowania zanieczyszczeń zawartych w odciekach, które przeszły przez uszkodzenia w izolacji sztucznej. Mimo stosowania najlepszych i najsurowszych metod kontroli jakości takich uszkodzeń w izolacjach syntetycznych nie da się uniknąć. Długotrwałość ropy uszczelnienia mineralnego odgrywa istotną rolę w skuteczności działania całego systemu uszczelniającego. Wobec braku doświadczeń w długim okresie ze stosowaniem geomembran PE-HD i bentomat tylko ropy uszczelnienia mineralnego ma gwarantowaną długotrwałość. Z punktu widzenia ropy przesłony w ciągu długiego czasu istotniejsza jest jej miąższość niż osiągnięta w czasie badań wartość współczynnika filtracji. W analizie efektywności przesłony nie wolno prymitywnie przeliczać rzędu we współczynniku filtracji na metry przesłony, zwłaszcza że następna ilasta „bariera geologiczna” w warunkach Tarnowskich Gór, jeśli jest, to znajduje się kilka metrów niżej. Podłożem, z którym sąsiadują ropy od dołu, jest ropy 40 cm wysiewek dolomitowych o współczynniku rzędu 10^{-5} – 10^{-6} m/s od góry natomiast 30 cm piasku pod folią. Układ ten nie jest optymalny. Geomembrana powinna leżeć na ropy. Eliminowałoby to też jeden drenaż, co przy składowisku „suchym” wydaje się przekonujące (zmieniono to w projekcie dostosowawczym). Generalną zasadą powinna być gwarancja trwałości technicznego rozwiązania, zgodna z obowiązującymi na świecie przepisami i doświadczeniami (Wysokiński, 1998b).

Tab. 3. Parametry ropy uzyskane z badań laboratoryjnych

Table 3. Soil parameters according to laboratory results

Zalecenia wg Instrukcji ITB nr 339/96	II Belchatów	II Miasteczko Śląskie	II Bestwina	Wysiewki dolomitowe
Zawartość frakcji ropy nie mniejsza niż 20%	40	30	20	5
Brak frakcji grubszych (żwirowej, kamienistej)	0	0	0	52
Wskaźnik plastyczności wyższy od 20%	45	30	23	–
Granica płynności wyższa od 30%	68	58	42	–
Zawartość węgla wapnia do 10%	< 2	14		> 10
Zawartość substancji organicznej do 2%	< 2	< 2	< 2	< 2
Współczynnik filtracji rzędu 10^{-9} m/s	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-7}
Rodzaj minerałów ilastych	beidelit, kaolinit	beidelit, kaolinit	beidelit, chloryty	

Tab. 4. Wymagania dla ropy stosowanych jako izolacja mineralna według różnych zaleceń międzynarodowych i polskich

Table 4. Requirements for soil used for base sealing according to international and polish standards

Parametr	Wymagania				Wyniki badań			
	GLR	Abfoll	Instrukcja ITB	Rozporządzenie z dnia 05.03.2001r.	Belchatów	Miasteczko Śląskie	Bestwina	Wysiewki dolomitowe
Współczynnik filtracji [m/s]	10^{-8}	5×10^{-10}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-10}	10^{-8}	10^{-7}
Wskaźnik plastyczności [%]	–	–	> 20		45	30	23	–
Granica płynności [%]	–	–	> 30		68	58	42	–
Zawartość węgla wapnia [%]	30	–	10		< 2	14		> 10
Zawartość części organicznych [%]	5	5	< 2		< 2	< 2	< 2	< 2
Minimalna grubość ropy [m]	1,5	0,75	0,60	0,5				
Zawartość frakcji ropy [%]	20	20	20		40	30	20	5

Doświadczenia zdobyte w 2000 r. podczas budowy I kwatery pozwalają na stwierdzenie, że w zmiennych warunkach pogodowych udaje się zabiegami technicznymi dotrzymać wysokich wymagań dotyczących budowanej przesłony ilastej. Warunki kontroli każdej warstwy (25 cm) wskazują na niewielką zmienność parametrów filtracyjnych. Wartość współczynnika filtracji badanego iltu na przesłonie wynosiła średnio $k = 5 \times 10^{-12}$ m/s, przy maximum 3×10^{-11} m/s i minimum zero (niemierzalna przepuszczalność) z 50 wyników. W przypadku niedotrzymywania parametrów warstwa była rozbiegana, nawilgaczana lub suszona i ponownie formowana (Wysokiński i in., 2000).

Wnioski

Problem budowy składowiska odpadów niebezpiecznych przy ZCh *Tarnowskie Góry* nie sprowadza się tylko do aspektu finansowego (ok. 300 mln zł), ale jest również ważny z punktu widzenia ekologii, zdrowia ludzi i oddziaływania na środowisko. Priorytetowym przedsięwzięciem jest skończenie budowy składowiska, w którym zostaną zgromadzone, wcześniej zestalone, odpady. Zagadnienie unieszkodliwienia zagrożenia w tak dużej skali, jak to opisano, jest przedsięwzięciem niespotykanym i nietypowym w Polsce i na świecie, i powinno być odpowiednio przygotowane. Problem likwidacji zagrożenia środowiska w Tarnowskich Górach, z uwagi na jego niepowtarzalność, powinien być rozpatrywany indywidualnie. Rozwiązania, by były optymalne, powinny być dopasowane do występujących tu warunków. Decyzje ministra w tej sprawie nie powinny opierać się na standardowych rozporządzeniach, których potem nie można zastosować, ale na przygotowanych dla danego przypadku indywidualnych rozwiązaniach. Analiza podanego przykładu wskazuje, że unieszkodliwienie odpadów niebezpiecznych w postaci ich trwałego składowania wymaga każdorazowo szczegółowej analizy i doboru warunków składowania. Konstrukcja składowisk budowanych w określonym miejscu zawsze związana jest z gruntem i specyficzną budową geologiczną, zatem jednym z zasadniczych elementów jest dobre rozpoznanie i ocena warunków hydrogeologicznych, geotechnicznych i budowlanych. Obecne rozpoznanie zagrożenia środowiska w zakresie wód i gruntów w Tarnowskich Górach jest zdecydowanie lepsze niż kilka lat temu. Jest to wynikiem czteroletnich prac monitoringowych GIG, jak też prac badawczych w trakcie realizacji projektu firmy *Citec*. Wyliczony orientacyjnie łączny ładunek zanieczyszczeń w składowiskach, gruncie i wodzie wokół Zakładów Chemicznych *Tarnowskie Góry* to: Ba — 53 500 t, B — 2700 t, Sr > 1000 t, Zn — 52 000 t, As — 500–1000 t oraz innych > 1000 t. Ładunek mobilny, łatwo rozpuszczalny, możliwy do uruchomienia z odpadów przez wodę należy szacować w zależności od pierwiastka od 1 do 50% podanej masy. Większość z tych substancji to trucizny i substancje kance-

rogenne. Znaczna część mobilnych zanieczyszczeń przeszła już do wód. Biorąc pod uwagę stwierdzone tempo migracji substancji chemicznych, istnieje konieczność izolowania całej masy odpadów i przeniesienie ich na przygotowane składowisko.

Literatura

- BORKIEWICZ J., GULIŃSKA T. & MAKOWSKI A. 1998 — Ocena Oddziaływania na Środowisko składowiska odpadów przemysłowych dla Zakładów Chemicznych *Tarnowskie Góry* w Tarnowskich Górach w likwidacji na etapie koncepcji docelowej. Inst. Gosp. Odpadami w Katowicach.
- Dyrektywa** Rady 91/689/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie odpadów niebezpiecznych.
- Dyrektywa** Rady 96/61/EC z dnia 24 września 1996 r. w sprawie zintegrowanego zapobiegania i kontroli ograniczenia zanieczyszczeń.
- Empfehlungen** Geotechnik der Deponien und Altlasten, 1997 — GDA. Ernst & Sons, Berlin.
- Kompleksowe** unieszkodliwianie odpadów wraz z rekultywacją terenów skażonych Zakładów Chemicznych *Tarnowskie Góry* w Tarnowskich Górach w likwidacji. Przestrzenny model geologiczny, 1999 — *Citec S.A., Ekolog System Sp. z o.o., Czyste Powietrze sp. z o.o.*, Arch. *Citec S.A.*, nr 00445/K/I.1/03.
- Ocena** oddziaływania na zdrowie ludzi procesu urabiania odpadów poprodukcyjnych zdeponowanych na hałdach przyzakładowych, 1996 — Inst. Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec.
- Projekt** architektoniczno-budowlany składowiska ob. Nr 1, 1999 — *Citec S.A., Ekolog System Sp. z o.o., Czyste Powietrze sp. z o.o.*, Arch. *Citec S.A.*, nr PEB 1982.
- Requirements** for Hazardous Waste Landfill. Design, Construction and Closure, 1989 — Zalecenia Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska, EPA/625/4-89/022.
- Resource** Conservation and Recovery Act (RCRA), 1991 — Criteria for Municipal Solid Waste Landfills, USA, Part 258.
- Rozporządzenie** Ministra Gospodarki z dnia 21.10.1998 r. w sprawie szczegółowych zasad usuwania, wykorzystywania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych, 2001 — Dz. U. Nr 145, poz. 942 z póź. zm.; Dz. U. Nr 22, poz. 251 z 5 marca 2001 r.
- Technische** Anleitung zur Verwertung, Behandlung und Sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, 1993 — TA Siedlungsabfall. Bundesanzeiger Verlags, Kilonia.
- WYSOKIŃSKI L. 1998a — Badanie właściwości odsiewek dolomitowych użytych do budowy warstwy uszczelniającej na składowisku odpadów szkodliwych w Tarnowskich Górach. Arch. ITB, NG-519/P/98.
- WYSOKIŃSKI L. 1998b — Ocena rozwiązań technicznych uszczelnienia składowiska odpadów chemicznych dla Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach. Opinia specjalistyczna, Arch. ITB NG-1/03/98.
- WYSOKIŃSKI L. 1999 — Składowisko odpadów niebezpiecznych Tarnowskie Góry. Prz. Komunalny, 4: 47–58.
- WYSOKIŃSKI L. & ŁUKASIK S. 1996 — Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów. Instrukcja ITB nr 339/96, Warszawa.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S. & GODLEWSKI T. 2002 — Badania materiałów uszczelniających na składowisku odpadów. Ocena możliwości wykorzystania gruntów ze złóż w Bestwinie i Miasteczku Śląskim do budowy przesłony izolacyjnej na składowisku odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach. Arch. ITB, NG-0680/02.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S. & MAJER E. 2000a — Nadzór nad budową przesłony mineralnej na składowisku odpadów niebezpiecznych na terenie Zakładów Chemicznych *Tarnowskie Góry* w likwidacji. Arch. ITB, NG-0608/00.
- WYSOKIŃSKI L., ŁUKASIK S. & MAJER E. 2000b — Projekt poletka doświadczalnego dla składowiska odpadów niebezpiecznych na terenie Zakładów Chemicznych w Tarnowskich Górach. Arch. ITB, NG-0583/00.