

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ GEOINŻYNIERII
GORNICTWA I GEOLOGII

Wpływ sposobów składowania odpadów paleniskowych w
wytwarzaniu końcowym odkrywki Bełchatów na
środowisko wodne

Autor: mgr inż. Lech Stolecki

Promotor: prof. dr inż. Zbigniew Kozłowski

Wrocław 2005

Spis treści

I Studia literaturowe

1. Wstęp.....	3
2. Słownik pojęć wykorzystanych w pracy.....	4
3. Przegląd literatury.....	7
4. Eksploatacja węgla brunatnego w Polsce	11
4.1 Stan górnictwa węgla brunatnego w Polsce i prognozy jego rozwoju.....	11
4.2 Charakterystyka Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” S.A.....	15
4.2.1 Lokalizacja i budowa geologiczno-hydrogeologiczna	15
4.2.2 Opis KWB „Bełchatów”	22
5. Odpady paleniskowe uzyskiwane z elektrowni opalanych węglem brunatnym.....	24
5.1 Klasyfikacja odpadów paleniskowych.....	24
5.2 Charakterystyka odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A.....	29
6. Problem składowania odpadów paleniskowych – sposoby rozwiązań	38
6.1 Metody wykorzystania odpadów paleniskowych.....	38
6.2 Obecne technologie składowania odpadów paleniskowych.....	44
6.3 Proponowane metody składowania odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A.....	48

II Praca badawcza

7. Metodyka badań.....	56
7.1 Badania czasu wiązania odpadów paleniskowych.....	58
7.2 Badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie.....	58
7.3 Badania wpływu wody zewnętrznej na związane odpady paleniskowe.....	59
7.4 Określenie współczynnika filtracji związanych odpadów paleniskowych.....	60
7.5 Badania odcieków ze związanych odpadów paleniskowych oraz odpadów mieszanych z nadkładem.....	62
8. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań laboratoryjnych.....	65
9. Określenie zanieczyszczeń emitowanych ze składowiska Bagno-Lubień do wód podziemnych	70
10. Prognoza zanieczyszczeń emitowanych do wód podziemnych dla różnych technologii deponowania odpadów....	77
11. Modelowanie hydrogeochemiczne	90
11.1 Charakterystyka modelowania.....	90
11.2 Obliczenia hydrogeochemiczne.....	92
12. Propozycje metod składowania odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A.....	97
13. Podsumowanie.....	120
14. Wnioski.....	126
15. Literatura.....	128

1. Wstęp

Problem składowania odpadów paleniskowych jest zagadnieniem szeroko dyskutowanym oraz badanym w kraju i zagranicą. Większość wykonywanych badań skupia się na zabezpieczeniu środowiska (atmosferycznego i wodnego) przed niekorzystnym wpływem deponowanych odpadów paleniskowych ze składowisk ulokowanych na powierzchni terenu. Zdeponowanie odpadów paleniskowych w postaci luźnej na składowisku znajdującym się na powierzchni terenu może spowodować nadmierne pylenie drobnej frakcji odpadów paleniskowych. Dodatkowo, lokowanie odpadów paleniskowych na składowiskach nie dostosowanych do panujących warunków hydrogeologicznych w danym rejonie może wywołać zwiększenie ogólnej mineralizacji wód, poprzez wzrost zawartości siarczanów i wapnia wynikający z naturalnej skłonności odpadów paleniskowych do rozpuszczania w wodzie. Kompleksowe rozwiązanie problemu związanego z bezpieczną utylizacją odpadów paleniskowych, które są produktem ubocznym zachodzących procesów technologicznych w przemyśle energetycznym, jest zagadnieniem skomplikowanym i wywołującym wiele problemów w zakresie ochrony środowiska naturalnego.

Trudności z bezpiecznym zagospodarowaniem odpadów paleniskowych dotyczą także Elektrowni „Bełchatów” S.A. Brak przyjętej strategii utylizacji odpadów paleniskowych po wypełnieniu zaprojektowanych zbiorników na wierzchowinie zwałowiska wewnętrznego (w około 2016 roku) zmusza elektrownię do szukania nowych technologii ich składowania oraz nowych miejsc lokalizacji składowisk. Jednym z pomysłów posadowienia składowisk jest umieszczenie ich w wyrobisku eksploatacyjnym kopalni odkrywkowej. Taka lokalizacja składowisk pozwala rozwiązać dwa istniejące problemy: brak bezpiecznych i wystarczająco dużych składowisk dla odpadów paleniskowych oraz wypływanie wyrobiska końcowego kopalni odkrywkowej. Z drugiej strony, umiejscowienie zdeponowanego materiału w rejonie występowania wód podziemnych rodzi niebezpieczeństwo zanieczyszczenia ich związkami zawartymi w odpadach paleniskowych.

Niniejsza praca dotyczy określenia wpływu na środowisko wodne składowanych odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego w zależności od sposobu ich deponowania. Analizowane technologie składowania odpadów muszą uwzględniać specyfikę projektowanych lokalizacji składowisk jakimi mogą być poziomy zwałowiska wewnętrznego zlokalizowanego w wyrobisku Bełchatów, któremu przypisano wodne zagospodarowanie. Do rozważań wyselekcjonowano cztery sposoby składo-

wania odpadów: suspensji, mechaniczny – zmodyfikowany, hydrauliczny – zmodyfikowanej oraz mechaniczny.

W części literaturowej pracy znajduje się opis górnictwa odkrywkowego węgla brunatnego w Polsce i perspektywy jego rozwoju. Scharakteryzowano obecne metody składowania odpadów paleniskowych. Przedstawiono technologie deponowania stosowane dotychczas w Elektrowni Bełchatów S.A. oraz nowe technologie, które mogą zostać wdrożone do eksploatacji, w tym przedsiębiorstwie lub innych elektrowniach.

Prezentację metodyki wykonanych badań, charakterystykę modelowania geochemicznego wykorzystanego w niniejszej pracy oraz opis monitoringu składowiska Bagno-Lubień i wód odwadniających w Kopalni Bełchatów S.A. zawiera część badawcza. W tym etapie opracowania scharakteryzowano także wyniki badań uzyskanych przez autora.

Ostateczne opracowanie badań polegało na analizie porównawczej otrzymanych wyników za pomocą różnych aparatów badawczych (badania laboratoryjne, pomiary terenowe i modelowanie geochemicznego). Na podstawie tych danych sformułowano wnioski zawierający odpowiedź na pytania: jakie związki będą wymywane ze związanych odpadów paleniskowych, jaka jest ich wielkość, czy zagrażają bezpieczeństwu środowiska wodnego w rejonie odkrywki Bełchatów oraz w przypadku wystąpienia zagrożenia zanieczyszczenia środowiska wodnego jak mu przeciwdziałać. Odpowiedź na te pytania dotyczy wszystkich analizowanych technologii składowania odpadów paleniskowych.

2. Słownik pojęć wykorzystanych w pracy

Ze względu na szeroki zakres tematyczny zawarty w pracy autor podał definicje pojęć najczęściej używanych w pracy oraz dodatkowo zdefiniował analizowane sposoby składowania odpadów paleniskowych.

Ługowanie skał – rozpuszczanie minerału lub grupy minerałów i wynoszenie produktów rozpuszczania poza zasięg występowania ługowanych skał [Macioszczyk, Dobrzyński, „Hydrogeochemia...” 2002].

Odkrywka – wydzielona organizacyjnie część kopalni węgla brunatnego [W. Głapa, „Mały leksykon...” 2005].

Odkrywkowe wyrobisko górnicze – przestrzeń o wymiarach i przeznaczeniu powstała lub powstająca w złożu kopaliny albo w skałach otaczających w wyniku wykonywania odkrywkowych robót górniczych [Polskie Normy].

Odpady – każda substancja lub przedmiot należący do jednej z kategorii określonych w ustawie o odpadach, których posiadacz pozbywa się, zamierza się pozbyć lub do ich pozbycia się jest zobowiązany [W. Glapa, „Mały leksykon...” 2005].

Rekultywacja terenów poeksploatacyjnych – ogół czynności prowadzących do rekultywacji wyrobisk górniczych, zwałowisk i innych terenów z uwzględnieniem obiektów po działalności górniczej [W. Glapa, „Mały leksykon...” 2005].

Rozpuszczanie – proces odrywania jonów z sieci krystalicznej i ich przejście do roztworu [Maciaszczyk, „Hydrogeochemia...” 2002].

Składowisko odpadów – obiekt budowlany przeznaczony do składowania odpadów [Dz. U. 01.62.628].

Sposób składowania – metoda składowania – czynności wykonane w celu przemieszczenia odpadów paleniskowych z elektrowni Bełchatów i zdeponowania na składowisku lub w innej lokalizacji znajdującej się w wyrobisku Bełchatów [autor].

Środowisko – ogół elementów przyrodniczych, w tym także przekształconych w wyniku działalności człowieka, a w szczególności powierzchni ziemi, kopaliny, wody, powietrze, zwierzęta i rośliny, krajobraz oraz klimat [Dz. U. 01.62.627].

Utylizacja – unieszkodliwienie i/lub przetwarzanie różnego rodzaju odpadów (i zanieczyszczeń) powstających w wyniku działalności gospodarczej [Encyklopedyczny słownik zoologiczny].

Uziarnienie – rozpatrywane od jej spągu do stropu; rozkład wymiarów ziarn, wyrażony jako procent masy przechodzącej przez określony zestaw sit [Polskie Normy].

Wodoprzepuszczalność – zdolność gruntu do przepuszczania wody siecią kanałików utworzonych z porów w nim występujących [S.Pisarczyk, „Mechanika gruntów” 1992].

Wody podziemne – wody występujące w skałach skorupy ziemskiej [Słownik hydrogeologiczny].

Wody podziemne swobodne – wody podziemne ograniczone od góry swobodnym zwierciadłem i strefą areacji, a od dołu pierwszym poziomem słabo przepuszczalnym lub nieprzepuszczalnym [Słownik hydrogeologiczny].

Wyrobisko końcowe – wyrobisko górnicze powstałe po zakończeniu eksploatacji odkrywkowej, uwzględniające wszystkie elementy znajdujące się w odkrywce Bełchatów [autor].

Zaczyn odpadowy – związane odpady paleniskowe; - mocna, twarda masa [autor].

Zwałowisko – przestrzeń zajęta przez planowane rozmieszczenie materiału zwałowego [W. Głapa, „Mały leksykon...” 2005].

Zwałowisko wewnętrzne – zwałowisko zlokalizowane wewnątrz wyrobiska odkrywkowego [Polskie Normy].

Definicje metod opisywanych w pracy:

Metoda hydrauliczna – sposób składowania odpadów paleniskowych wykorzystujący do transportu rurociągi, w którym medium transportującym jest woda o stosunku masowym woda:odpady 10:1.

Metoda mechaniczna - sposób składowania odpadów paleniskowych wykorzystujący do transportu przenośniki taśmowe oraz zwałowarki pracujące na zwałowisku wewnętrznym.

Metoda hydrauliczna - zmodyfikowana – sposób składowania odpadów wykorzystujący transport odpadów stosowany w metodzie hydraulicznej, natomiast całkowitej zmianie ulega sposób deponowania odpadów na składowisku (umożliwia związanie odpadów na składowisku).

Metoda mechaniczna - zmodyfikowana – metoda wykorzystująca transport odpadów przenośnikami taśmowymi, natomiast odpady nie są zwałowane na zwałowisku tylko po wymieszaniu z wodą w ilości 30% masy odpadów umieszczane na składowisku, gdzie z mieszaniny odpadów i wody powstaje zaczyn odpadowy.

Metoda suspensji – metoda w której odpady po wymieszaniu z wodą (stosunek masowy wody:odpadów zawiera się w przedziale od 0,52 do 0,58) transportuje się rurociągami na składowisko, gdzie następuje ich zdeponowanie i związanie tworząc zaczyn odpadowy.

3. Przegląd literatury

W literaturze znajduje się wiele prac, których tematyka związana jest z odpadami paleniskowymi. Autorzy w swoich pracach skupiają się przede wszystkim na trzech zagadnieniach:

- gospodarczym wykorzystaniu odpadów paleniskowych,
- metodach składowania odpadów paleniskowych,
- wpływie składowanych odpadów paleniskowych na środowisko naturalne.

Próby gospodarczego wykorzystania odpadów paleniskowych, w głównej mierze, dotyczą szeroko rozumianego budownictwa drogowego oraz możliwości wytwarzania betonu przy użyciu odpadów paleniskowych. Prowadzone prace były związane: z możliwością wytwarzania zestalonych zaczynów popiołowych w technologii utwardzania gruntów, nasypów, zwałowisk, dróg lokalnych [7,9,10,33,46,49,51,56,75,84], produkcją spoiw bezcementowych [17,55], zastosowaniem popiołów jako dodatku aktywnego do cementu [11,63,83], produkcji betonu [8,62,63,89,90] oraz w budownictwie [44,61,71,97]. Wymienione kierunki zagospodarowania odpadów paleniskowych są dominujące, ale nie jedyne. Dzięki swoim właściwościom popioły lotne są wykorzystywane w rolnictwie i ogrodnictwie jako nawozy mineralne [14,94,96] oraz jako materiał do podsadzek samo zestalających wypełniających pustki poeksploatacyjne w górnictwie podziemnym [53,65,66]. Wykorzystanie gospodarcze odpadów paleniskowych niesie ze sobą wiele pozytywnych aspektów. Najważniejszym z nich jest ochrona środowiska naturalnego, wykorzystanie odpadów w gospodarce powoduje brak konieczności ich deponowania na składowiskach dzięki czemu ogranicza się ich wpływ na środowisko. Użycie odpadów paleniskowych do różnego rodzaju przedsięwzięć powoduje obniżenie kosztów takiej inwestycji, dzięki czemu stają się one bardziej opłacalne. Gospodarcze wykorzystanie odpadów paleniskowych jest najlepszym rodzajem ich zagospodarowania, lecz pomimo wielu prób takiego wykorzystania odpadów nadal dominującym sposobem ich utylizacji jest deponowanie na składowiskach.

Z tym zagadnieniem związanych jest wiele prac określających sposoby deponowania materiału na składowisku [4,6,20,22,28,58,67,69,73,79,80,92]. W pracach tych analizowano różne technologie składowania odpadów dla różnych lokalizacji składowisk. Oprócz prac szczegółowo omawiających technologie deponowania odpadów w literaturze znajdują się publikacje traktujące problematykę składowania odpadów kom-

pleksowo, w których autorzy omawiają perspektywy rozwoju różnych metod składowania odpadów paleniskowych [29]. W pracach [58, 67, 79] przedstawiono sposoby deponowania odpadów opierające się na transporcie hydraulicznym o stosunku masowym wody do odpadów około 10:1. Autorzy w swoich pracach skupiają się na zagadnieniach technologicznych związanych z transportem i składowaniem materiału, dużo miejsca poświęcają możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, które przedostają się ze składowiska do wód podziemnych w wyniku wystąpienia awarii wyrażającej się przerwaniem izolacji zbiorników. Przedstawione prognozy zanieczyszczeń świadczą o możliwości znacznego pogorszenia jakości wód podziemnych w rejonie składowisk. W przypadku zabezpieczenia środowiska wodnego, autorzy proponują stosowanie izolacji sztucznej (folia) oraz naturalnej (grunty nieprzepuszczalne). Moim zdaniem dla zapewnienie pełnego bezpieczeństwa stosowanie tylko izolacji jest zabezpieczeniem nieodpowiednim, o wiele lepszym sposobem jest próba przekształcenia odpadów do takiej postaci w której ogranicza się ich oddziaływanie. Nad taką formą składowania odpadów prowadzili badania autorzy prac: [4, 20, 22 i 69]. Stwierdzili oni w swoich pracach, że deponowanie odpadów w postaci związanej może być bezpieczniejsze dla środowiska naturalnego niż deponowanie tych materiałów w postaci luźnej. Badacze Ci analizowali odpady powstałe ze spalania węgla kamiennego. Grupa autorów skupiła się na analizie obecnych metod składowania odpadów i przedstawieniu możliwych kierunków rozwoju sposobów składowania w przyszłości w poszczególnych zagłębiach eksploatacji węgla brunatnego. Takie opracowania zostały zawarte w pracach [28, 80, 92], przy czym prace [80 i 92] dotyczyły Bełchatowa natomiast praca [28] Turowa. W pracy 80 wykonano bardzo szczegółową prognozę wpływu składowanych odpadów na zwałowisku wewnętrznym przy wykorzystaniu obecnie stosowanych metod w Elektrowni Bełchatów S.A.. W opracowaniu zaleca się stosowanie pełnej izolacji, lecz zwraca się uwagę na możliwość zanieczyszczenia środowiska wodnego w przypadku wystąpienia awarii na składowisku. Wg opinii autorów, z którą się zgadzam, o wiele bezpieczniejszy sposób składowania odpadów to taki, który umożliwia związanie składowanych odpadów. W pracy nie przedstawiono żadnych szczegółowych propozycji nowych sposobów składowania odpadów, opisano tylko bardzo ogólnie kierunki rozwoju. W pracach [28 i 92] wykonano dyskusję nad obecnie stosowanymi sposobami deponowania odpadów w analizowanych rejonach. W pracy [28] przedstawiono różne warianty składowania, które można wdrożyć w omawianym przedsiębiorstwie, niestety bardzo mało miejsca poświęcono ochronie środowiska wodnego. W pracy [92] wykazano zagrożenia związane ze

składowaniem odpadów z Elektrowni Bełchatów S.A. sposobami obecnie stosowanymi. Autorzy proponują zmiany sposobów składowania, celem ograniczenia oddziaływania odpadów na wody podziemne oraz dostosowaniem tych metod do lokowania odpadów w nowych warunkach posadowienia, czyli w wyrobisku kopalni odkrywkowej. Wg autorów sposoby umożliwiające związanie składowanych odpadów są najbezpieczniejsze w takich warunkach.

Ważnym zagadnieniem omawianym w literaturze jest wpływ składowanych odpadów paleniskowych na środowisko naturalne. Z tą tematyką związane są prace [2,12,15,35,37,38,45,64,71,82,85,88,95]. Autorzy w swoich opracowaniach prognozują oddziaływania zdeponowanych odpadów na środowisko, analizują wpływ już zeskładowanych materiałów w oparciu o istniejące instalacje monitoringu środowiskowego, prezentują metody ograniczenia wpływu zdeponowanych materiałów na środowisko naturalne oraz tworzą metodologie służącą określaniu wpływu zdeponowanych odpadów określoną technologią składowania na środowisko naturalne. W pracach [2, 35, 37, 38] zajmowano się zagadnieniami związanymi z modelowaniem numerycznym zachowania się odpadów paleniskowych w czasie transportu hydraulicznego (stosunek odp:woda 1:10), wymywaniem związków rozpuszczalnych ze zdeponowanych odpadów oraz określeniem skali zagrożenia dla środowiska wodnego ze strony odpadów składowanych metodą opierającą się na transporcie hydraulicznym. Autorzy tych prac, w swoich badaniach wyodrębnili związki, które odgrywają decydującą rolę w mineralizacji wód zewnętrznych i stanowią dla nich największe zagrożenie, wg nich są to siarczany i wapń. Badania wykonane przez autora potwierdziły te wnioski. W pracach [12 i 95] przedstawiono wpływ na wody podziemne składowisk, które nie zostały w żaden sposób zabezpieczone przed emisją zanieczyszczeń lub uległy awarii charakteryzującej się przedostaniem dużej ilości zanieczyszczonych wód do środowiska wodnego. W obydwu pracach wykazano, że analizowane procesy powodują znaczące pogorszenie jakości środowiska wodnego w rejonie analizowanych składowisk, dlatego celowe jest wdrożenie sposobów umożliwiających ograniczenie wpływu zdeponowanych odpadów. Autorzy prac [64 i 82] zajęli się zagadnieniami składowania odpadów paleniskowych razem z nadkładem na zwałowisku wewnętrznym. Wg ich opinii nie umiejętne zdeponowanie odpadów na zwałowisku wewnętrznym może przyczynić się do znacznej degradacji wód podziemnych (wody przedostające się ze składowiska mogą zawierać około 2100 mg/dm³ substancji rozpuszczonych, w tym około 1200 mg/dm³ siarczanów). Jednakże, umiejętne lokowanie odpadów na zwałowisku wewnętrznym może nie stanowić tak du-

żego zagrożenia dla wód podziemnych. Mieszanie odpadów tylko z utworami ilastymi może spowodować ograniczenie zagrożenia jakości wód napływających do wyrobiska w czasie jego rekultywacji. Występowania w utworach ilastych łatwo utleniających się minerałów np. pirytów może powodować proces degradacji jakości wody przez ługowanie skał kwaśnymi wodami, skutkujące wzrostem stężeń wielu składników mineralnych w wodzie, w tym zwłaszcza metali. Przeciwdziałać temu procesowi można poprzez dodanie do tych utworów odpadów paleniskowych, które będą pełniły rolę utworów neutralizujących kwasowość i spowodują podwyższenie pH wody, dzięki czemu uzyskuje się lepszą ich jakość. Takie rozwiązanie niesie ze sobą wiele korzyści, następuje poprawa jakości wód wypełniających wyrobisko poeksploatacyjne, wykorzystane odpady nie powodują degradacji środowiska wodnego i dodatkowo są wykorzystane przemysłowo jako materiały służące do wypłykania odkrywki w której zakończono eksploatację.

Dodatkowo w literaturze znajdują się prace analizujące właściwości fizyko-chemiczne odpadów paleniskowych, które umożliwią ich wykorzystanie w różnych dziedzinach gospodarki lub pozwolą zdeponować na składowiskach zlokalizowanych w miejscach obecnie niedostępnych ze względów technologicznych, ekonomicznych lub środowiskowych [8,9,10,21,45,47,50,52,72]. Autorzy w swoich publikacjach badają właściwości wytrzymałościowe związanych odpadów i analizują możliwości ich polepszenia, badają cechy umożliwiające wykorzystanie nowych technologii do deponowania odpadów paleniskowych oraz opisują właściwości fizyko-chemiczne odpadów z perspektywy przeciwdziałania niekorzystnym oddziaływaniom odpadów paleniskowych lub związków z nimi związanych na środowisko naturalne i obiekty inżynierskie.

Należy, także zwrócić uwagę na prace, których tematyka bezpośrednio nie jest związana z odpadami paleniskowymi, ale które pośrednio łączą się z tą problematyką. Mowa tu o wszystkich publikacjach, w których analizuje się perspektywy rozwoju górnictwa kopalin stałych w Polsce i na świecie [13,32,33,91], analizach geologicznych złóż węgla brunatnego i kamiennego [5,30,93]. Dużą grupę stanowią prace specjalistyczne związane z różnymi dziedzinami nauki, które wykorzystuje się przy analizach oddziaływań zdeponowanych odpadów na środowisko naturalne oraz sposobie i szybkości migracji zanieczyszczeń z istniejących i projektowanych składowisk [3,16,18,26,27,34,41,48,54,59,60,86,87]. Wszystkie te prace w sposób pośredni wykorzystuje się przy określaniu możliwości składowania odpadów paleniskowych w rejonie występowania wód podziemnych.

Wykonany przegląd literatury wskazał potrzebę wykonania kompleksowych analiz deponowania odpadów paleniskowych na składowiskach zlokalizowanych w obszarze występowania wód podziemnych. W pracy takiej nacisk powinien być skierowany na próbę ograniczenia wpływu zdeponowanych odpadów paleniskowych na środowisko wodne przez zmianę ich właściwości fizycznych. Tak przedstawione założenia skłoniło autora do sformułowania tezy niniejszej pracy:

**Postać zdeponowanych odpadów paleniskowych decyduje
o intensywności ich oddziaływania na środowisko wodne.
Ograniczenie tego oddziaływania może nastąpić przez odpowiednie
składowanie umożliwiające związanie odpadów.**

Oddziaływanie odpadów paleniskowych na środowisko wodne jest jednym z głównych czynników decydujących o przydatności danej metody do składowania.

4. Eksploatacja węgla brunatnego w Polsce

4.1 Stan górnictwa węgla brunatnego w Polsce i prognozy jego rozwoju

Polski przemysł węgla brunatnego ukierunkowany generalnie na dostarczenie paliwa do elektrowni zawodowych zabezpiecza ponad 34% produkowanej w Polsce energii elektrycznej [32]. Przemysł ten opiera się na krajowych złożach węgla brunatnego, których zasoby bilansowe zajmują łącznie powierzchnie około 5 400 km², obejmując osiem okręgów:

- ✓ bełchatowski,
- ✓ konińsko-adamowski,
- ✓ legnicki,
- ✓ łódzki,
- ✓ poznański,
- ✓ północno-zachodni
- ✓ radomski,
- ✓ zachodni.

Obecnie eksploatacja prowadzona jest w 5 kopalniach, przy czym jedna jest w likwidacji:

- ✓ KWB Adamów dostarczająca węgiel do elektrowni Adamów o mocy 600 megawatów,
- ✓ KWB Bełchatów, dostarczająca węgiel do elektrowni Bełchatów o mocy 4 440 megawatów,
- ✓ KWB Konin, dostarczająca węgiel elektrowni w Pątnowie i Koninie o mocy odpowiednio 1200 i 538 megawat,
- ✓ KWB Turów, dostarczająca węgiel elektrowni Turów o mocy 2 109 megawatów,
- ✓ KWB Sieniawa (w likwidacji) dostarcza węgiel na rynek miejscowy.

Z wymienionych działających kopalń węgla brunatnego najmłodszą jest kopalnia Bełchatów, która aktualnie jest jedną z największych w Europie kopalnią odkrywkową o docelowym rocznym wydobyciu 38,5 mln Mg węgla brunatnego, czyli więcej niż kopalnie Turów, Konin i Adamów razem wzięte. Przewidywane zakończenie działalności wydobywczej w wymienionych kopalniach węgla brunatnego określa się na lata 2023-2045. Dalsza eksploatacja, która mogła by zastąpić kończące się wydobycie węgla w czynnych rejonach wydobywczych, jest możliwa np. w okręgu legnickim (udokumentowane tam zasoby bilansowe wynoszą 3,8 mld Mg) i zachodnim (udokumentowane zasoby bilansowe wynoszą 2,8 mld Mg). Wielkość, jakość oraz dostępność tych złóż umożliwia dalsze planowanie wykorzystania węgla brunatnego w Polsce jako strategicznego surowca energetycznego na co najmniej następne 50 lat [32].

Wydobycie a następnie spalanie w elektrowniach węgla brunatnego ma znaczący wpływ na warunki środowiska naturalnego. Działalność kopalń powoduje znaczące zmiany w środowisku wodnym przejawiające się w wykształceniu leja depresji, który umożliwia prowadzenie działalności wydobywczej w wyrobisku. Spalanie paliwa jakim jest węgiel brunatny powoduje emisje do atmosfery związków siarki, dwutlenku węgla oraz substancji stałych (popioły). Zapobieganie nadmiernemu zanieczyszczeniu środowiska realizuje się poprzez instalowanie systemów zmniejszających szkodliwą emisję zanieczyszczeń do środowiska naturalnego. Najczęściej stosowanymi układami są systemy odpopielania oraz odsiarczania. Dla prawidłowego działania tych urządzeń istotne znaczenie ma wartość opałowa oraz zawartość popiołu i siarki w eksploatowanym węglu brunatnym surowym (tabela 4.1).

Tabela 4.1 Wartość opałowa oraz zawartość popiołu i siarki w węglu brunatnym surowym aktualnie wydobywanym według Z. Kozłowskiego [33]

Region	Złoże	Wartości średnie parametrów jakości złoża		
		Wartość opałowa kJ/kg	Zawartość w % w węglu surowym	
			popiołu	siarki
Bełchatowski	Bełchatów	7 833	9,9	0,65
Zachodni	Turów	9 609	11,6	0,52
Konińsko – adamowski	Józwin II B	7 926	11,5	1,05
	Kazimierz Pn.	8 847	7,7	1,12
	Lubustów	8 987	5,4	0,40
	Adamów	8 790	6,4	0,26
	Koźmin	8 382	6,1	0,17
	Władysławów	7 356	13,0	0,40

W aktualnie eksploatowanych złożach średnia zawartość w węglu surowym popiołu wynosi od 5,4 do 13,0 %, siarki od 0,17 do 1,12 %, a wartość opałowa od 7 356 do 9 609 kJ/kg. Siejko w swojej pracy "Możliwości wykorzystania popiołów lotnych z węgla brunatnego do produkcji betonu komórkowego" stwierdza, że z 1 mln ton suchego węgla brunatnego, w którym ilość substancji niepalnych wynosi 10%, otrzymuje się 100 tys. ton odpadów, z których 10% stanowi żużel elektrowniany, a 90 tys. ton to popioły. W celu określenia skali problemu związanego ze składowaniem odpadów paleniskowych, należy przedstawić prognozę ilości wydobycia węgla brunatnego w Polsce. Popyt na węgiel brunatny jest ściśle związany z krajową energetyką i zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Założenia Polityki Energetycznej Polski do 2025 roku [91] zawierają wariantową prognozę zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce dla czterech scenariuszy wytwarzania energii do roku 2025, opracowanych przez ministerstwo gospodarki (tabela 4.2).

Tabela 4.2 Prognoza zapotrzebowania na energię elektryczną [TWh] [91]

Scenariusze	2005	2010	2015	2020	2025
Traktatowy	145,8	168,3	191,7	225,6	273,1
Pods. Węglowy	145,8	168,3	191,5	225,1	272,6
Pods. Gazowy	145,8	168,3	191,0	223,1	269,9
Efektywności	144,7	165,2	184,1	211,9	252,7

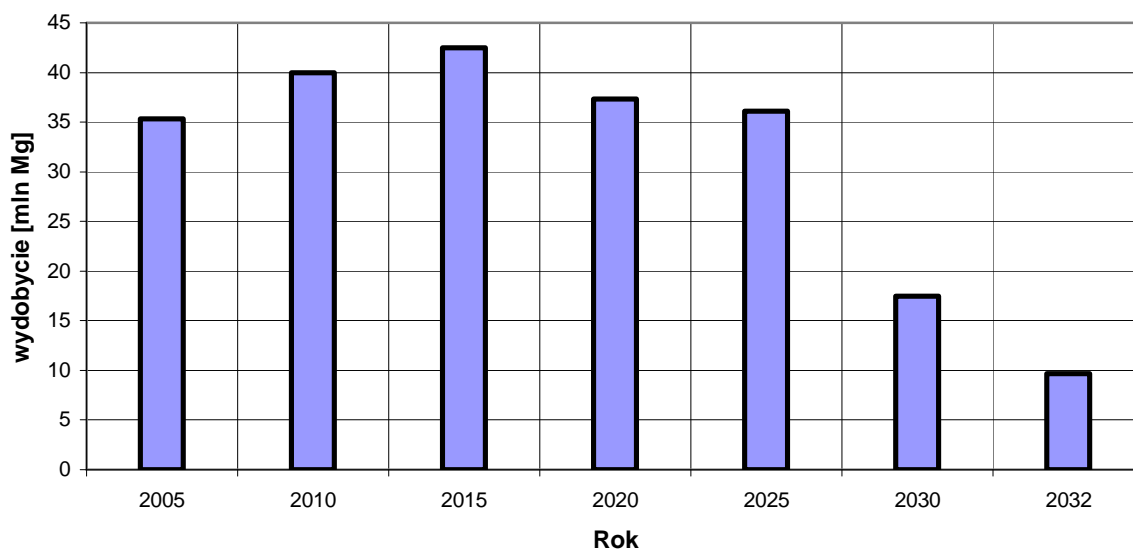
Prognoza ta świadczy o zwiększeniu w stosunku do roku 2005 zapotrzebowania na energię elektryczną o około 13% w roku 2010 i do około 55% w roku 2025 w zależności od scenariusza. Proponowany w Założeniach sposób pokrycia niedoboru produkcji energii elektrycznej głównie oparto na gazie, z którego produkowana energia elektryczna będzie wielokrotnie droższa, niż z krajowych kopalin stałych. Eksploatacja węgla brunatnego ma pozostać zbliżona do poziomu z roku 2005.

W tabeli 4.3 przedstawiono prognozę wydobycia węgla brunatnego w Polsce, w działających kopalniach odkrywkowych, a na rysunku 4.1 prognozę wydobycia dla samej kopalni Bełchatów S.A..

Tabela 4.3 Prognoza wydobycia węgla brunatnego w Polsce do roku 2065 opracowana przez Z. Kozłowskiego (niektóre dane) [33]

Lata	Kopalnie węgla brunatnego, mln Mg				
	Adamów	Bełchatów	Konin	Turów	RAZEM
2005	4,4	35,3	11,0	13,2	63,9
2010	4,4	40,0	10,4	13,2	68,0
2015	4,4	42,5	10,4	12,4	69,7
2020	4,4	37,3	10,4	12,4	64,5
2023	1,3	35,7	10,3	11,3	58,6
2030	-	17,5	4,2	11,3	33,0
2032	-	9,7	4,2	11,3	33,0
2037	-	-	1,6	14,3	15,9
2040	-	-	0,6	-	0,6

Produkcja węgla brunatnego pokrywająca zapotrzebowanie na wytwarzanie energii elektrycznej na poziomie 34% w skali kraju zostanie utrzymana do 2022 roku. Po tym okresie następuje gwałtowny spadek eksploatowanego węgla brunatnego w działających kopalniach. Brak tak dużej ilości energii elektrycznej może spowodować załamanie polityki energetycznej kraju, dlatego już teraz powinna zostać podjęte decyzje o rozpoczęciu przygotowań do uruchomienia nowych kopalni węgla brunatnego. Należy zauważyć, że okres przygotowania do eksploatacji złóż węgla brunatnego wymaga co najmniej kilkunastu lat oraz ustaleń na szczeblu rządowym odpowiednich form organizacyjnych.



Rys. 4.1 Prognoza eksploatacji węgla brunatnego w Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” S.A. do roku 2032

4.2 Charakterystyka Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” S.A.

W pracy wykonuje się analizę oddziaływań na środowisko wodne odpadów paleniskowych powstałych ze spalania węgla brunatnego eksploatowanego w kopalni „Bełchatów S.A. Taka sytuacja wymaga krótkiej charakterystyki tej kopalni.

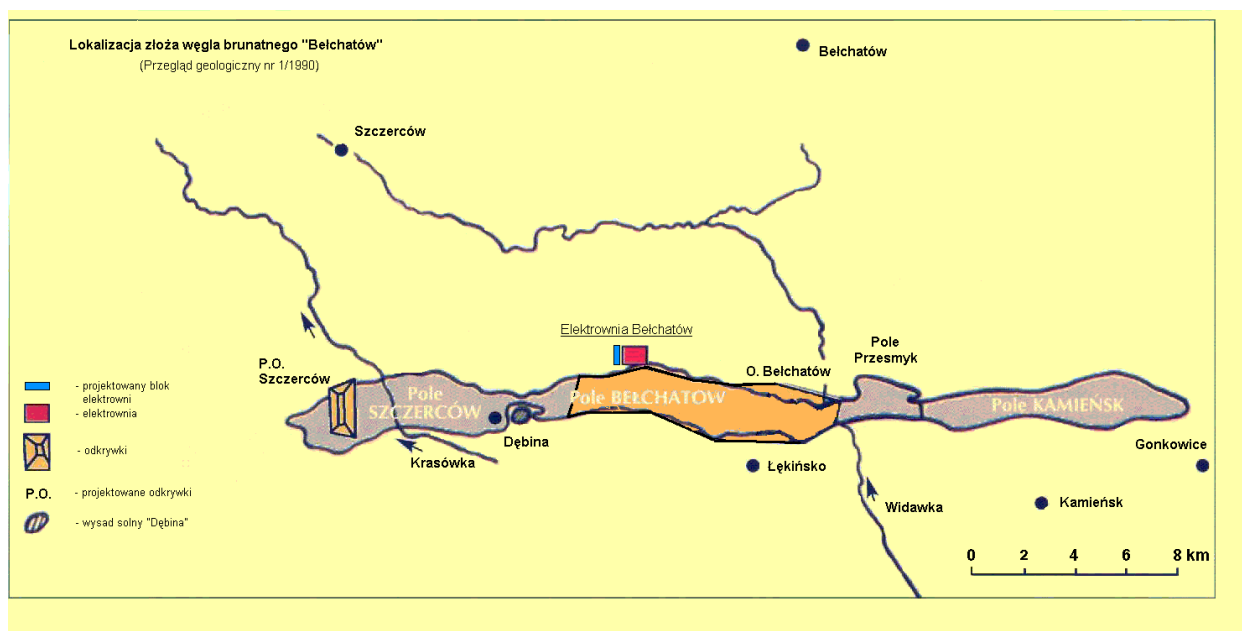
Obecnie eksploatowane w kopalni „Bełchatów” S.A. jest pole Bełchatów, natomiast w polu Szczerców rozpoczęto prace w wkopie udostępniającym. Proponowane składowiska odpadów paleniskowych omawiane w niniejszej pracy są zlokalizowane w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów i na zwałowisku wewnętrznym posadowionym w tej odkrywce.

4.1.1 Lokalizacja i budowa geologiczno-hydrogeologiczna

Lokalizacja

Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” położona jest w środkowej Polsce, w południowej części byłego województwa piotrkowskiego. W sposób naturalny dzieli się na trzy części - pola górnicze:

- wschodnie – Kamieński, o długości około 13 km, na wschód od uskoku rzeki Widawki
- środkowe – Bełchatów, o długości około 12 km, pomiędzy uskokiem Widawki a wysadem solnym,
- zachodnie – Szczerców, o długości około 8 km, na zachód od wysadu solnego.



Rys. 4.2 Lokalizacja złóż węgla brunatnego kopalni „Bełchatów” S.A.

Oddzielenie pól Bełchatów i Szczerców wysadem solnym Dębiny spowodowało konieczność ich odrębnej eksploatacji, przy czym z uwagi na większą ilość zasobów, większy udział gruntów sypkich w nadkładzie, jak również mniejszą procentową zawartość siarki w węglu uznano za celowe w pierwszej kolejności przemysłowe zagospodarowanie pola Bełchatów. Pole Szczerców jest zagospodarowywane w drugiej kolejności, dla zaspokojenia potrzeb modernizowanej i rozbudowanej elektrowni „Bełchatów” S.A.

Pole Kamieńsk nie jest brane pod uwagę w planach przemysłowej eksploatacji metodą odkrywkową. Sytuacja taka spowodowana jest małą ilością zasobów węgla, w których przeważający udział mają zasobów pozabilansowych, oraz znacznie gorsze warunkami zalegania niż pozostałe części złoża [56].

Całkowita ilość zasobów bilansowych pola Bełchatów (potencjalnie nadających się do eksploatacji) w kategoriach rozpoznania $B + C_1 + C_2$ wynosiła około 1090 mln Mg, na polu Szczerców natomiast zasoby bilansowe w tych samych kategoriach sięgają 730 mln Mg. Zasoby pola Kamieńsk, zalegającego na wschód od wkopu udostępniającego, oblicza się na 130 mln Mg. Około 60% całych zasobów węgla w złożu bełchatowskim zalega w polu Bełchatów.

Złoże Bełchatów z punktu widzenia technologii górniczej eksploatacji jest przykładem najbardziej skomplikowanych warunków zalegania w skali światowej. Dotyczy to zarówno sposobu zalegania złoża, urabialności nadkładu jak i warunków geotechnicznych i hydrogeologicznych.

Budowa geologiczna

Złoże węgla brunatnego Bełchatów zalega w obrębie zapadliska tektonicznego zwanego rowem Kleszczowa, który stanowi południową granicę niecki Łódzkiej, oddzielającej ją od elewacji Radomska. Rów Kleszczowa rozciąga się w kierunku W-E, od okolicy Rząśni na zachodzie na odcinku ok. 65 km.

Dno i ramy zbocza rowu Kleszczowa oraz obszarów do niego przylegających zbudowane są głównie z utworów mezozoicznych – jury i kredy, które przykryte są osadami trzeciorzędu i czwartorzędu. Jedynie w rejonie wysadu solnego Dębina nawiercono osady permskie – cechsztynu należące do ery paleozoicznej.

Utwory podłoża mezozoicznego w przeważającej części analizowanego obszaru złoża Bełchatów zbudowane są z utworów jury górnej, reprezentowanej przez wapienie oksfordu, wapienie i margle kimerydu oraz kredy górnej wykształconych w postaci margli, wapieni, opok i piaskowców. Ponadto w podłożu występują utwory jury dolnej i środkowej oraz podrzędnie permu.

Utwory jury dolnej i środkowej reprezentowane są przez kompleks iłowców, mułowców, łupków ilastych i ilasto-piaszczystych oraz piaskowców. Utwory te zaznaczają się w podłożu w obrębie antykliny Łękińska, w części środkowej i południowo-wschodniej odkrywki Bełchatów. Osady permu reprezentowane są przez cechsztyńskie sole wraz z przykrywającą je czapą iłowo-gipsową. Utwory te tworzą formę wysadu położonego po zachodniej stronie odkrywki Bełchatów.

Sumaryczne miąższości utworów budujących podłoże przyjęto na 500 m dla osadów kredy i ok. 1000 m dla osadów jury górnej [5].

Na utworach mezozoicznych zalegają osady trzecio- i czwartorzędu. W obszarze złoża Bełchatów trzeciorząd reprezentowany jest przez trzy zasadnicze serie:

- ✓ podwęglową wykształconą w postaci piasków, iłów i mułków,
- ✓ węglową reprezentowaną przez pokład węgla brunatnego wraz z miejscowymi przerostami iłów, mułków, kredy jeziornej i sporadycznie soczew piasków,
- ✓ nadwęglową wykształconą głównie w postaci iłów, mułków i piasków.

Sumaryczna miąższość osadów trzeciorzędowych waha się od 100 do 200 m, osiągając maksymalne miąższości ponad 400 m [30].

Pokład węgla tworzący złożę jest pod względem wykształcenia dość zróżnicowany, zarówno w kierunku poziomym jak i pionowym. Złożę ma długość około 30 km i zmienną szerokość od 1,5 do 2,5 km. Strop węgla zalega na zmiennej głębokości, od 110 m w środkowej części pola Bełchatów do 200 m w rejonie rowu i od 140 do 160 m w rejonie wkopu udostępniającego pola Bełchatów. Spąg złoża zalega średnio na głębokości 190 m, w partiach najgłębszych sięga 450 m, a najmniejsza jego odległość od powierzchni terenu wynosi 150 m.

Średnia miąższość węgla wynosząca około 60 m ma tendencję nieznacznego wzrostu ze wschodu ku zachodowi. Minimalną grubość (3 m) pokład wykazuje w partiach brzeżnych, maksymalną natomiast (250 m) w rowie II rzędu. Przeciętne grubości wahają się od 55 do 65 m. Partia centralna pokładu jest jednolita, natomiast strefy brzeżne oraz stropowe rozszczepiają się na kilka ław [68].

Przykrywające złożę osady czwartorzędowe reprezentowane są głównie przez piaski, żwiry, gliny, ily warwowe, mułki oraz rumosze skalne. Sumaryczne miąższości utworów czwartorzędowych w obszarze złoża Bełchatów wynoszą od 50 do 120 m, osiągając przy jego północnych granicach w strefie czwartorzędowej rynnę erozyjnej miąższości od 150 do 300 m.

Analizowany obszar charakteryzuje się skomplikowaną tektoniką. Na mezozoicznym podłożu o fałdowej strukturze nałożyły się ruchy tektoniczne, które doprowadziły do powstania rowu Kleszczowa. Uskoki tworzące rów wywarły znaczny wpływ na formę tworzącego się złoża węgla brunatnego i osadów mu towarzyszących oraz ich miąższości i wykształcenia litologicznego. W morfologii podłoża mezozoicznego zaznaczają się głównie uskoki o przebiegu W-E, spośród których jako pierwotny wyodrębniono uskoki południowy o zrzucie na N. Do powierzchni uskoku południowego utworzyły się następnie uskoki dopełniające o zrzucie na S. Doprowadziło to do powstania klinowatego rowu z kulminacyjnym obniżeniem podłoża, zwanym rowem II rzędu, pomiędzy liniami utworów złożowych 50 NS na zachodzie, a 64 NS na wschodzie [93].

Charakterystyka hydrograficzna

Analizowany obszar leży w zlewni Warty. Głównym ciekim przepływającym przez złożę jest Widawka, prawobrzeżny dopływ Warty, uchodząca do niej powyżej Sieradza.

Zlewnia Widawki graniczy od północy z północnego wschodu ze zlewnią rzeki Ner, od południa i zachodu ze zlewniami mniejszych dopływów Warty lub jej zlewnią bezpośrednią. Od wschodu zlewnia Widawki graniczy z rzeką Luciążą należącą do zlewni Pilicy. Drugim co do wielkości ciekim na analizowanym obszarze jest Krasówka, lewobrzeżny dopływ Widawki, przepływająca po południowej i zachodniej stronie złoża. Po mniejszych ciekami są:

- ✓ w części wschodniej – Jeziorka,
- ✓ w części centralnej – Struga Żłobnicka,
- ✓ w części zachodniej – Struga Aleksandrowska.

Warunki hydrogeologiczne

W obszarze złoża Bełchatów wyodrębniono trzy kompleksy wodonośne pozostające we wzajemnym kontakcie hydraulicznym:

- ✓ czwartorzędowy kompleks wodonośny,
- ✓ trzeciorzędowy kompleks wodonośny,
- ✓ kredowo-jurajski kompleks wodonośny.

Wodonośne utwory trzeciorzędu występują w obrębie trzeciorzędu nadwęglowego – w obszarze złoża i poza nim. Dla potrzeb charakterystyki warunków hydrogeologicznych w rejonie złoża i w obszarach bezpośrednio do niego przylegających utwory wodonośne trzeciorzędu nadwęglowego połączono z utworami czwartorzędu w kompleks wodonośny nadkładowy.

Kompleks wodonośny w nadkładzie pokładu węgla

Sumaryczna miąższość utworów wodonośnych nadkładowego kompleksu wodonośnego zmienia się od kilkunastu metrów w rejonie wysadu do ponad 200 m przy północnych granicach złoża w strefie rynn erozyjnej. Utwory wodonośne wykształcone są głównie w postaci piasków średnio- i drobnoziarnistych, pospółek (odpowiednio 42%, 21% i 14% wszystkich frakcji) oraz piasków pylastych i gliniastych, piasków gruboziarnistych, żwirów i kamieni (odpowiednio 15,5 %, 3%, 4,5% wszystkich frakcji). Utwory wodonośne nadkładu charakteryzują się dobrą przepuszczalnością. Wielkości współczynników filtracji obliczone na podstawie korelacji danych z granulometrii oraz wyników próbnych pompowań wynoszą od 1,5 do 60 m/d przy wartościach średnich 20 m/d dla obszaru złoża i 24 m/d w rynn erozyjnej.

Poziom wodonośny w utworach trzeciorzędu podwęglowego

Utwory wodonośne poziomu podwęglowego reprezentowane są przez piaski drobno- i średnioziarniste (łącznie ok. 80% wszystkich frakcji), podrzędnie występują piaski pylaste i gliniaste oraz piaski grube i pospółki (ok. 20% wszystkich frakcji). W obrębie piasków, w szczególności w części wschodniej odkrywki, zalegają przewarstwienia z iłó i mułków. Sumaryczne miąższości piasków podwęglowych w obszarze złoża Bełchatów wynoszą od ok. 10-30 m w części wschodniej do ok. 150-200 m w części zachodniej (w rowie II rzędu).

Średnia wielkość współczynnika filtracji obliczona na podstawie wyników analiz granulometrycznych dla poziomu podwęglowego wynosi ok. 1,4 m/d.

Kompleks wodonośny podłoża mezozoicznego

W analizowanym obszarze wodonośnym kompleksu mezozoicznego reprezentowane są przez skrasowiałe i spękane wapienie górnej jury oraz margle, wapienie, piaski i piaskowce kredy górnej. Podrzędnie występują piaski i piaskowce jury dolnej i środkowej. Osady te występują w obrębie antykliny Łękińska, gdzie przeławicają się z utworami niewodonośnymi, takimi jak mułowce, iłowce, ily i margle ilaste. Przepuszczalność kompleksu mezozoicznego jest zróżnicowana. Średnie wielkości współczynnika filtracji [wg. 5 i 30] wynoszą od ok. 0,25-4,9 m/d dla jury dolnej i środkowej, do ok. 2,15-10,8 m/d dla utworów jury górnej i ok. 2,25 m/d dla osadów kredy.

Mezozoiczny kompleks wodonośny pozostaje w kontakcie hydraulicznym z utworami wyżejległymi. Głównie poprzez bezpośrednie kontakty hydrauliczne utworów kredowo-jurajskich z piaskami trzeciorzędowymi w obszarze złoża i obszarach przylegają-

cych do południowej granicy złoża oraz z osadami czwartorzędowymi w obrębie północnej rynny erozyjnej.

Przed podjęciem robót odwodnieniowych naturalne zwierciadło wód podziemnych na analizowanym obszarze złoża i terenach do niego przyległych zalegało na rzędnych 200-220 m n.p.m. w części S obszaru w paśmie pomiędzy Radomskiem a Pajęcznem, skąd obniżało się do rzędnych od 200 do 180 m n.p.m. w rejonie złoża Bełchatów i ok. 160-170 m n.p.m. w kierunku NW od Szczercowa. Na wschód od Bełchatowa i Radomska zwierciadło wód podziemnych zalegało na rzędnych ok. 220 m n.p.m. skąd w kierunku na NE i E obniżało się do rzędnych ok. 190 m n.p.m.

Spływ wód podziemnych w analizowanym obszarze był zgodny z kierunkami odpływu wód powierzchniowych głównych cieków i odbywał się głównie w kierunku na NW, oraz częściowo na S i NE (w części południowej obszaru). Kierunek odpływu na S wiąże się z wododziałem pomiędzy Wartą a Widawką, a na NE z wododziałem pomiędzy Widawką a Luciążą (zlewnia Pilicy).

Wody podziemne analizowanego obszaru charakteryzują się dobrą jakością. Są to wody o niskiej mineralizacji o zawartości suchej pozostałości od 200 do 400 mg/dm³, o odczynie słabozasadowym pH od 7 do 8,5, miękkie i średnotwarde.

Wody te zawierają podstawowe jony w następujących ilościach:

- ✓ wapń od 40 do 90 mg/dm³,
- ✓ magnez od 3 do 16 mg/dm³,
- ✓ sód i potas od 3 do 19 mg/dm³,
- ✓ żelazo od 0,5 mg/dm³ do 6 mg/dm³,
- ✓ mangan- od braku do 0,4 mg/dm³,
- ✓ wodorowęglany od 100 do 360 mg/dm³,
- ✓ chlorki od 4 do 30 mg/dm³,
- ✓ siarczany od 3 do 35 mg/dm³.

Prowadzone prace odwodnieniowe i eksploatacyjne spowodowały zmiany elementów budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych. Obszar wyrobiska poeksploatacyjnego zajęty zostanie przez zwałowisko wewnętrzne oraz zbiornik wodny.

Zwałowisko wewnętrzne budowane jest z przypadkowo wymieszanych mas nadkładu, tj. z osadów czwartorzędowych [wg. 92] w ilościach 65% i trzeciorzędowych w ilościach 35%. Wśród osadów budujących zwałowisko dominują utwory sypkie- głównie piaski. W obrębie osadów czwartorzędowych:

- ✓ utwory sypkie stanowią 70%,
- ✓ gliny 9%,
- ✓ mułki i iły 2,5%,
- ✓ mułki, iły i piaski o charakterze zastoiskowym 18,5%.

W obrębie osadów trzeciorzędowych:

- ✓ utwory sypkie stanowią 48%,
- ✓ iły i mułki 42%,
- ✓ utwory węglanowe 4%,
- ✓ przerosty węgla 6%.

Zwałowisko wewnętrzne jest wodoprzepuszczalne. Współczynnik filtracji określony dla osadów budujących zwałowisko wynosi wg. badań polowych przeprowadzonych przez ONB Poltegor od 0,5 do 5 m/d, a porowatość określona na $n_0 = 0,3 \div 0,4$.

Poza przemieszany rodzajami nadkładu w obrębie korpusu zwałowiska (od 1992 r) lokowane są popioły z Elektrowni „Bełchatów” S.A. Popioły po wymieszaniu z nadkładem składowane są na III, IV i V poziomie zwałowiska.

Poziomy te buduje mieszanina popiołu z nadkładem, w której udział popiołu przeciętnie wynosi 7,5%. Ta część zwałowiska zbudowana jest z nieregularnych brył, w których zawartość popiołów wynosi od 5,3% do 21,5%.

Zwałowisko wewnętrzne pozostaje w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z utworami wodonośnymi, które budują dno i zbocza wyrobiska.

Podłoże zwałowiska wewnętrznego budują trzeciorzędowe piaski podwęglowe. Od strony północnej zwałowisko opiera się głównie o czwartorzędowe utwory piaszczysto-żwirowe rynn erozyjnej. Od wschodu kontaktuje się ze słabowodonośnymi górnokredowymi marglami i wapieniami oraz z przykrywającymi je piaskami trzecio- i czwartorzędowymi o sumarycznej miąższości od ok. 40 do ok. 120 m.

Od strony południowej zwałowisko kontaktuje się w części wschodniej z wodonośnymi, silnie skawernowanymi wapieniami jury górnej, następnie ze słabo wodonośnymi utworami jury dolnej i środkowej (rejon antykliny Łękińska) – głównie iłowcami i mułowcami z wkładkami piaskowców i piasków.

Na zachód od antykliny Łękińska zwałowisko kontaktuje się z wodonośnymi wapieniami i marglami jury górnej i kredy. Sumaryczna miąższość utworów piaszczysto-żwirowych przykrywających podłoże mezozoiczne po stronie południowej waha się od 50 do 100 m.

Aktualnie wschodnia część wyrobiska, gdzie formowane jest zwałowisko wewnętrzne, jest bardzo dobrze odwodniona. Zwierciadło wód podziemnych w dnie zwałowiska zalega na rzędnych od -20 m n.p.m. do 0 m n.p.m., tj. ok. 5 do 35 m poniżej jego podłoża.

W miarę przesuwania się centrum odwodnienia w kierunku zachodnim w obrębie zwałowiska wewnętrznego, następować będzie odbudowa zwierciadła wód podziemnych [68].

4.2.2 Opis KWB „Bełchatów”

Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” prowadzi odkrywkową eksploatację węgla brunatnego dla potrzeb pobliskiej elektrowni „Bełchatów” o aktualnej mocy 4440MW.

Całkowite zasoby złoża zlokalizowanego w tzw. Rowie Kleszczowskim wynosiły blisko 2 mld Mg węgla z czego do roku 2004 wydobyto około 685 mln Mg, złoża to zostało odkryte w 1960 roku.

Oficjalnie KWB „Bełchatów” powstała w 1975 roku. Działalność górniczą przy zdejmowaniu nadkładu rozpoczęto w 1977 roku, dostarczając od 1982 roku w sposób ciągły węgiel do nowo wybudowanej elektrowni „Bełchatów”.

Zagłębie Bełchatowskie jest najmłodszym i największym zagłębiem węgla brunatnego w kraju. Aktualnie kopalnia działa na zasadzie jednej odkrywki o zdolności wydobywczej 38,5 mln Mg węgla rocznie, przy zdejmowanych 100 do 145 mln m³ nadkładu, a druga odkrywka jest w budowie.

Aktualnie ze względu na zmniejszone zapotrzebowanie przez energetykę wydobyte węgla wynosi od 34 do 35,5 mln Mg rocznie.

W budowie kopalni zostały wykorzystane krajowe doświadczenia, zdobyte we wcześniej budowanych zagłębiach węglowych oraz prace naukowe z nimi związane. W kopalni zastosowano nowoczesne rozwiązania (maszyny i organizacja prac) w zakresie zdejmowania nadkładu i eksploatacji złoża. Dowodem na to jest zastosowanie dużych i wielonaczyniowych, gąsienicowych koparek kołowych (z grupy stutysięczników), nowej generacji przenośników taśmowych o wysokiej wydajności oraz elastycznego, rewersyjnego systemu transportowego, dającego dobre wykorzystanie złoża i surowców towarzyszących, przy zachowaniu krótkich dróg transportu. Pod względem wielkości, stosowanych maszyn i technologii górniczych KWB „Bełchatów” plasuje się w ścisłej czołówce światowej wśród kopalń tego typu.

Zarówno zdejmowanie nadkładu, jak i wydobywanie węgla prowadzone jest sposobem zabierkowym, z równoległym lub z równoległo – wachlarzowym postępowaniem frontu robót eksploatacyjnych. Węgiel wydobywany jest z jednego zasadniczego pokładu o średniej miąższości 52 metrów, po zdjęciu zalegającego nad nim nadkładu o grubości około 150 metrów. Nadkład zdejmowany jest na czterech poziomach nadkładowych oraz trzech poziomach mieszanych, tj. nadkładowo – węglowych. Węgiel natomiast wydobywany jest, oprócz trzech poziomów mieszanych, jeszcze na dwóch poziomach czysto węglowych.

Koparki do zdejmowania nadkładu mają wydajność teoretyczną od 9 do 11 tysięcy m³/h, a do eksploatacji węgla od 1,7 do 6 tysięcy m³/h, natomiast zwałowarki taśmowe od 12,5 do 15,4 tysięcy m³/h.

Transport urobku odbywa się za pomocą taśmociągów z szerokością taśmy 1800 i 2250 mm. Do końca 1993 roku nadkład był lokowany na zwałowisku zewnętrznym, które zostało zrehabilitowane w kierunku leśnym. Aktualnie nadkład jest składowany w miejscu po wybranym węglu na zwałowisku wewnętrznym, na bieżąco rekultywowanym także w kierunku leśnym.

Eksploatowany węgiel ma kaloryczność w granicach od 7500 do 8800 kJ/kg, przy średniej zawartości popiołu około 10% i wilgotności około 53%.

Z nadkładu selekcjonowane są różne surowce towarzyszące, między innymi surowce ilaste o dużej różnorodności parametrów chemicznych, mineralnych i technologicznych, piasek kwarcowy o zawartości SiO₂ powyżej 99%, kruszywa budowlane i drogowe.

Przed przystąpieniem do zdejmowania nadkładu przeprowadzono odwodnienie złoża, które było realizowane systemem głębokich studzien wielkośrednicowych, rozmieszczonych wzdłuż linii, tworzących bariery odwodnieniowe wewnętrzne i zewnętrzne. System odwodnienia kopalni ujmuje rocznie 180 – 200 mln m³ wody pochodzącej:

- ✓ z barier studni odwadniających (woda I klasy czystości), kierowanej uszczelnionymi kanałami i rowami do cieków powierzchniowych,
- ✓ z opadów atmosferycznych i wycieków reszkowych, odpompowanych do osadników terenowych (z filtrem roślinnym w celu oczyszczenia do II klasy czystości)

Wywołany odwodnieniem lej depresji powodujący obniżenie się poziomu wód podziemnych jest zrekompensowany przez Kopalnię wybudowaniem wodociągów.

Dotychczas KWB „Bełchatów” wydobyla przeszło 685 mln Mg węgla, zdejmując około 3,0 mld m³ nadkładu. Nadkład w ilości 1350 mln m³ znajduje się na zwałowisku zewnętrznym a pozostała część na zwałowisku wewnętrznym.

Prognozy przewidują eksploatację złoża jeszcze przez około 30 lat. Uzasadnia się to tym, że energia elektryczna na bazie węgla brunatnego jest najtańszą energią elektryczną w Polsce, uważa się również, że zagadnienia ochrony środowiska są w elektrowni „Bełchatów” rozwiązane w stopniu zadowalającym. Dlatego już rozpoczęto budowę odkrywki „Szczerców”, z której węgiel będzie eksploatowany od 2007 roku, zasila-
jąc między innymi nowo wybudowany blok elektrowni „Bełchatów”, o mocy 833 MW [31].

Zastosowane w budowie KWB „Bełchatów” oryginalne i nowatorskie rozwiązania techniczne oraz skala i zakres przedsięwzięcia upoważniają do stwierdzenia, że realizacja budowy Kopalni, jak również jej aktualna eksploatacja są dużym osiągnięciem w europejskim górnictwie odkrywkowym oraz dobrą wizytówką, zachęcającą do podejmowania decyzji o rozwoju branży węgla brunatnego w Polsce.

5. Odpady paleniskowe uzyskiwane z elektrowni opalanych węglem brunatnym

5.1 Klasyfikacja odpadów paleniskowych

Podczas spalania paliwa stałego, jakim jest węgiel brunatny, powstają w paleniskach kotłów odpady będące stałą pozostałością po spaleniu części organicznych. Odpady te dzieli się z uwagi na miejsce ich wypadu na:

- ✓ żużle, które są częścią odpadów paleniskowych pozostającą w komorze spalania kotła,
- ✓ popioły, które są drobną frakcją odpadów paleniskowych unoszoną przez gazy spalinowe.

Okolo 90% odpadów stanowią popioły, których skład chemiczny jest bardzo zróżnicowany i zależy od:

- ✓ pochodzenia spalonego węgla brunatnego,
- ✓ sposobu i temperatury spalania węgla brunatnego,

- ✓ miejsca i sposobu pobierania próbki popiołu do badań,
- ✓ danej frakcji popiołu.

To zróżnicowanie składu chemicznego i mineralnego popiołów zobowiązuje do jasnego określenia sposobu jego badania oraz ścisłego przestrzegania miejsca i krotności pobierania prób. Czynniki te wpływają na klasyfikacje popiołów. W pracy przedstawiono kilka metod klasyfikowania popiołów: niemiecką, rosyjską, opracowaną przez ekspertów ONZ oraz przyjętą w kraju.

Klasyfikacja niemiecka opiera się na składzie popiołów oraz jego właściwościach wiążących [29,70,89]:

- ✓ popioły o charakterze gipsowym, których podstawowym składnikiem mineralnym jest siarczan wapnia obok minimalnych ilości wolnego wapnia i składników hydraulicznych,
- ✓ popioły o charakterze wapienno-gipsowym, których podstawowymi składnikami są wysokowypalony siarczan wapnia i tlenek wapnia; te popioły zalicza się do powietrznych materiałów wiążących,
- ✓ popioły o charakterze wapna hydraulicznego zawierają głównie wapno palone oraz niewielkie ilości składników hydraulicznych i siarczanów; zalicza się je również do powietrznych materiałów wiążących,
- ✓ popioły o charakterze hydraulicznym zawierają znaczne ilości rozpuszczalnych w kwasie solnym HCl krzemianów oraz glinianów; proces twardnienia tego rodzaju popiołów podobny jest do procesu twardnienia cementów portlandzkich,
- ✓ popioły o charakterze pośrednim między materiałami wiążącymi hydraulicznie a powietrznie o niewielkiej zawartości wapna, znacznej ilości tlenków żelaza i mniejszej tlenku glinu; popioły tego rodzaju przeważnie nie posiadają samoistnej zdolności wiązania,
- ✓ popioły chemicznie obojętne, zawierające głównie części rozpuszczalne w kwasie solnym HCl,
- ✓ popioły o składzie i właściwościach zbliżonych do popiołów z węgla kamiennych.

Opisana klasyfikacja jest bardzo rozbudowana, lecz jej dużą niedoskonałością jest brak podanych wartości liczbowych poszczególnych związków chemicznych, co utrudnia zakwalifikowanie danych popiołów do określonej odmiany.

Podział stosowany w Rosji [29]:

- ✓ popioły zdolne do samodzielnego wiązania o wysokiej zawartości tlenku wapnia w granicach od 25 - 40 %,
- ✓ popioły nie wykazujące zdolności do samodzielnego wiązania o znacznie mniejszej zawartości tlenku wapnia aniżeli w poprzedniej grupie.

Podział zaproponowany przez specjalistów francuskich [23], a ustalony przez ekspertów ONZ w Pradze w 1969 r., obejmuje następujące odmiany popiołów:

- ✓ glinowo-krzemianowe,
- ✓ krzemianowo-glinowe,
- ✓ siarczanowo-wapniowe.

W Polsce stosuje się bardziej rozwinięty podział popiołów lotnych i żużli (rys. 4.1), z tym że popioły lotne ze względu na duże zróżnicowanie składu chemicznego dzielą się na trzy rodzaje:

- ✓ popioły krzemianowe,
- ✓ popioły glinowe,
- ✓ popioły wapniowe.

Na podstawie odsiewu na sicie o boku oczka kwadratowego od 63 - 71 μm (BN-79/6722-09) wyróżnia się trzy sortymenty popiołów:

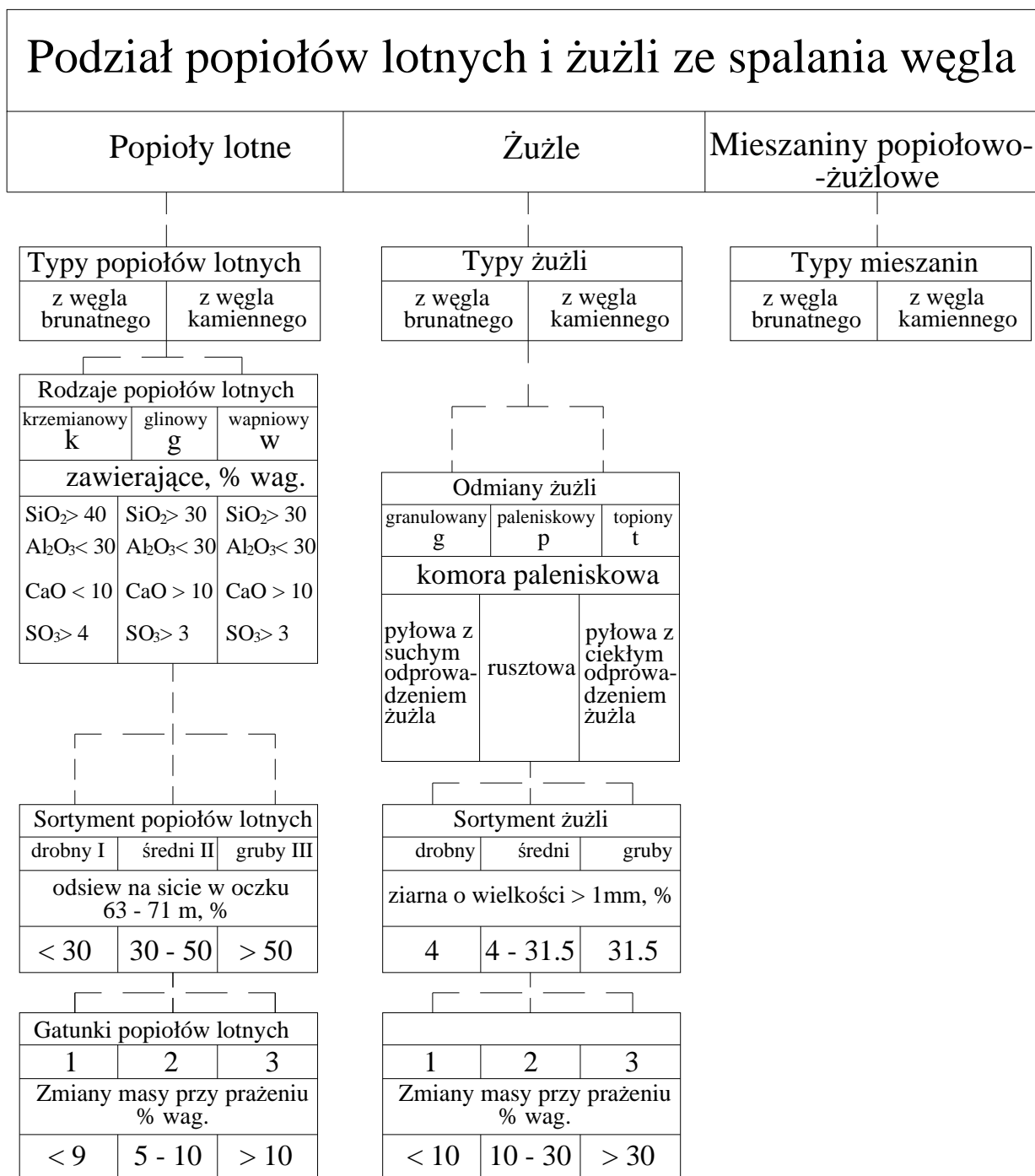
- ✓ I - popiół drobny o odsiewie poniżej 30% wagowych,
- ✓ II - popiół średni o odsiewie 30 - 50% wagowych,
- ✓ III - popiół gruby o odsiewie powyżej 50% wagowych.

Klasyfikacja pozwala na zakwalifikowanie popiołów do danej grupy dzięki czemu znane są ich właściwości fizyko-chemiczne, co ułatwia próby ich gospodarczego wykorzystania.

Popioły przedostające się do atmosfery stanowią problem ekologiczny. Zastosowanie systemów odpopielania w działających elektrowniach opalanych węglem brunatnym w znacznym stopniu ograniczyło emisje tych odpadów poprzez kominy elektrowni. Podwyższenie skuteczności oczyszczania gazów technologicznych zwiększyło ilość deponowanych odpadów na składowiskach. Najczęściej spotykaną lokalizacją składowisk odpadów paleniskowych jest powierzchnia terenu. Takie posadowienie umożliwia odizolowanie składowanego materiału od wód gruntowych, a zastosowanie odpowied-

niego odwadniania powierzchniowego umożliwia odpowiednią gospodarkę ściekami związanymi z opadami atmosferycznymi. Lokalizacja takich obiektów na powierzchni terenu ma także złe strony. Najpoważniejszym zagrożeniem jest zjawisko pylenia wtórnego. Odpady są unoszone przez wiatr, powodując zanieczyszczenie powietrza, a następnie opadają na powierzchnię terenu wokół składowiska, gdzie następuje ich ługowanie przez opady atmosferyczne, wody powierzchniowe lub gruntowe. Następnym zagrożeniem związanym z tą lokalizacją jest niebezpieczeństwo obsunięć zdeponowanych opadów ze składowisk nadpoziomowych.

Lokowanie składowisk popiołów lotnych na powierzchni jest złem koniecznym. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest określenie technologii deponowania odpadów poniżej powierzchni terenu. Wykorzystana metoda musi spełniać wszelkie wymogi związane z bezpieczeństwem środowiska wodnego.



Rys. 5.1 Schemat klasyfikacji odpadów elektrowniowych według J. Hycnara [19]

Dodatkowo przedstawiono klasyfikacje popiołów i żużli traktowanych jako odpad przemysłowy. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27.IX.2001r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. nr 112, poz. 1206) odpady paleniskowe powstające w wyniku spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A. można zaliczyć do grupy **10** - odpady z procesów termicznych, podgrupy **10 01** - odpady z elektrowni i innych zakładów energetycznego spalania paliw, rodzaju: **10 01 02** - popioły lotne z węgla oraz w przypadku składowania przy wykorzystaniu metody hydraulicznej **10 01 80** - mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych.

Odpady te należą do grupy odpadów uciążliwych ze śladową zawartością metali ciężkich, nie stanowiących szczególnego zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi.

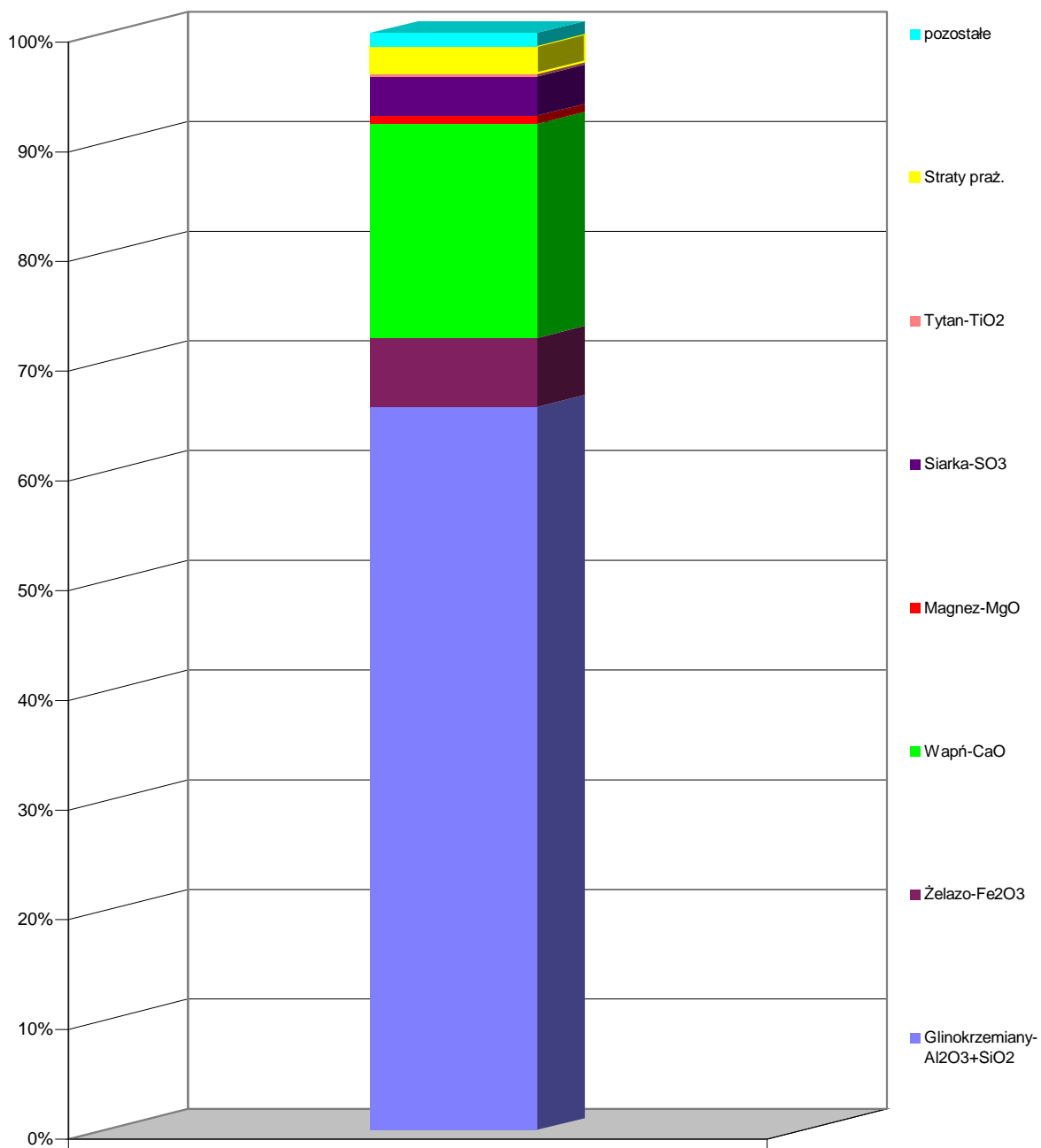
5.2 Charakterystyka odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A.

Węgiel brunatny z okręgu bełchatowskiego cechuje się skomplikowanymi warunkami zalegania oraz związanym z tym zróżnicowaną jakością. Cechy te wpływają na znaczną zmienność składu mineralnego i chemicznego odpadów paleniskowych.

Badania nad składem chemicznym odpadów z bieżącego spalania węgla brunatnego z KWB Bełchatów podali w swoich pracach: Z. Giergiczny i E. Michniewicz [9] „Badanie procesów zestalania zacinów z popiołów bełchatowskich”, J. Peukert A. Thiel i J. Kania [63] „ Wykorzystanie popiołu lotnego z węgla brunatnego Bełchatów. Cz. II. Popiół jako surowiec „niski” do produkcji klinkieru portlandzkiego”, E. Giergiczny i inni [8] „Właściwości materiałów wiążących zawierających popiół lotny ze spalania węgla brunatnego” oraz J. Peukert i A. Thiel [62] „Wykorzystanie popiołu lotnego z węgla brunatnego Bełchatów. Cz. I. Popiół jako aktywny dodatek do cementu.” W tabeli 5.1 umieszczono wyniki uzyskane z tych prac oraz wartości określone przez autora (rys. 5.2).

Dodatkowo przedstawiono dane z badań przeprowadzonych w latach 1982-1995. Jest to około tysiąca przebadanych próbek. Badania wykonano dla popiołów podzielonych ze względu na miejsca pobrania (I, II lub III strefa elektrofiltru, tabela 5.2) oraz w zależności od kotła w którym spalono węgiel (tabela 5.3). Przedstawione wyniki są opracowaniem statystycznym a przedziały zmienności są przedziałami średnimi.

W wyniku tych badań oraz wykonanych analiz stwierdzono, że popioły lotne z węgla brunatnego okręgu bełchatowskiego wykazują typ wapniowy o zróżnicowanym składzie chemicznym [8,9,62,63].



Rys. 5.2 Analizy chemiczne odpadów paleniskowych podana w postaci tlenkowej

Gęstość objętościowa

Gęstość objętościowa odpadów luźno sypanych świeżych wynosi ok. $0,45 \text{ g/cm}^3$. Po zagęszczeniu np. poprzez wibrowanie parametr ten wzrasta do ok. $1,20 \text{ g/cm}^3$ [58].

Gęstość właściwa

Wartości gęstości właściwej ulegają pewnym wahaniom w zależności od pobranych prób i mieszczą się w granicach od $2,1 - 2,5 \text{ g/cm}^3$ [58].

Skład granulometryczny

Około 10% odpadów stałych z elektrowni stanowi żużel. W poszczególnych okresach jego ilość wzrasta do 15%.

Popiół stanowi około 90% odpadów stałych. Blisko 90% stanowi w nim frakcja drobna. Z uwagi na dużą zawartość związków aktywnych hydraulicznie, popiół jest podatny na przechwytywanie wilgoci z powietrza i pod jej wpływem tworzy aglomeraty (zbryla się) [58]. W załączniku nr 1 przedstawiono wykres uziarnienia badanych odpadów.

Skład mineralogiczny

Skład mineralogiczny popiołów bełchatowskich określili w swoich pracach E. Michniewicz, Z. Giergiczny [9] oraz J. Peukerta i A. Thiela [62]. Badania przeprowadzono metodą dyfraktometryczną i stwierdzono obecność w popiele faz krystalicznych: kwarcu – SiO_2 , anortytu - $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, hematytu – Fe_2O_3 , wolnego wapnia – CaO , anhydrytu – CaSO_4 , gelenitu – $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ oraz ślady gipsu – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Zawartość metali

Zawartość metali w odpadach paleniskowych pochodzących ze spalania węgla brunatnego z rejonu Bełchatowa określono w pracy [95]. Wg autorów tego opracowania metale w odpadach paleniskowych występują w postaci pierwiastków śladowych o niewielkich stężeniach od kilku ppm do kilkuset ppm, a ich ilość mieści się w zakresach zawartości charakterystycznych dla powierzchniowych poziomów gleb Polski. W załączniku nr 2 przedstawiono wykres zawartości pierwiastków śladowych w odpadach na tle średniej zawartości w glebach Polski.

Ciepło właściwe

Ciepło właściwe popiołów badane w zakresie temperatur 293-373 st. K (tj. 20-100°C) wynosi 0,839 kJ/kgK (tj. 0,200 kcal/kg°C) [58].

Powierzchnia właściwa

Popioły charakteryzują się stosunkowo dużymi powierzchniami właściwymi. Wynika to z ich rozwiniętych struktur mineralogicznych i drobnego uziarnienia. Ich powierzchnia właściwa waha się w granicach 1500-3500 cm²/g. Badania przeprowadzono metodą Blaine'a [9].

Współczynnik filtracji

Wartość średnia współczynnika filtracji odpadów paleniskowych na podstawie badań opisanych w pracy „Koncepcja docelowa składowania” wykonanej przez POLTEGOR w 1996 wynosi $k = 0,2 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Aktywność hydrauliczna

Popioły bełchatowskie zaliczamy do popiołów wapniowych czyli aktywnych hydraulicznie na podstawie badań autorów [8,9,58, 62,63]. W ich składzie można wyróżnić minerały klinkieru cementowego, aktywną fazę szklaną, anhydryt, gips i wolne CaO, które po zarobieniu wodą same wiążą i twardnieją. Proces ten jest procesem egzotermicznym, któremu towarzyszy oddawanie ciepła do otoczenia. Wśród wszystkich reakcji uwagę trzeba zwrócić na proces hydratacji wolnego wapnia, gdyż jest to reakcja najbardziej egzotermiczna. Efektem tego procesu jest wiązanie wody w połączenia krystalochemiczne oraz przyspieszenie procesu parowania wody ze względu na egzotermię zachodzących procesów. Wskaźnikami aktywności hydraulicznej popiołów jest: $\frac{CaO}{(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)} > 0,3$,

- ✓ zawartość wolnego wapnia (CaO > 3%),
- ✓ wysoka wartość pH (rzędu 11-12),
- ✓ odpowiednio rozwinięta powierzchnia właściwa.

Korzystając z podanych wskaźników popioły lotne z Elektrowni „Bełchatów” S.A. klasyfikuje się jako aktywne hydraulicznie.

Aktywność promieniotwórcza

Promieniotwórczość naturalną określono poprzez oznaczenie stężeń pierwiastków naturalnie promieniotwórczych, tj. potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 na trójkanałowym analizatorze naturalnych zanieczyszczeń radioaktywnych MAZAR-95. Wartość stężenia oceniono w oparciu o Instrukcję 234/95 „Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych”, opracowaną przez Instytut Techniki Budowlanej, określając dwa warunki, których spełnienie zezwala na użycie odpadu do produkcji materiałów budowlanych stosowanych w budownictwie przeznaczonym na stały pobyt ludzi:

- warunek f_1 - jest to warunek na ograniczenie aktywności sumarycznej w/w naturalnych pierwiastków promieniotwórczych,
$$f_1 = 0,00027 SK + 0,0027 SRa + 0,00435 STh \leq 1$$
- warunek f_2 - jest to warunek na ograniczenie stężenia radu Ra-226 w materiale, ze względu na emanację radonu Ra-222
$$f_2 \leq 185 \text{ Bq/kg}$$

gdzie: SK, SRa, STh oznaczają zawartość potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-232.

Wyniki badań aktywności promieniotwórczej odpadów zestawione w załączniku nr 3 wskazują, że zawartość pierwiastków naturalnie promieniotwórczych - potasu K⁴⁰, radu Ra²²⁶ i toru Th²²⁸ jest niska.

Obliczone zgodnie z instrukcją wartości współczynników kwalifikacyjnych f_1 i f_2 spełniają obydwa warunki ($f_1 \leq 1$; $f_2 \leq 185 \text{ Bq/kg}$), co oznacza, że partie odpadów reprezentowane przez te próbki mogą być stosowane do produkcji materiałów budowlanych wykorzystywanych w budownictwie mieszkaniowym

Moc dawki ekspozycyjnej promieniowania gamma na wysokości 1m nad nieograniczoną płaską powierzchnią złoża badanego materiału jest niska i mieści się w zakresie od MD = 4 $\mu\text{R/h}$ do MD = 11 $\mu\text{R/h}$.

Zgodnie z autorami pracy [95], stwierdza się że: „*aktywność promieniotwórcza odpadów paleniskowych z El. Bełchatów jest niska i składowanie ich na otwartej przestrzeni oraz wykorzystywanie do celów rekultywacji terenu i produkcji materiałów budowlanych nie stwarza zagrożenia radiologicznego dla środowiska*”.

Oprócz składu mineralnego i chemicznego odpadów paleniskowych dołączono w rozdziale, także wyniki ekstrakcji odpadów przy użyciu wody destylowanej wykonanej przez autora. W pracy umieszczono oznaczenia stężeń trzech związków chemicznych: Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , które mają decydujący wpływ na mineralizację wód infiltrujących przez zdeponowane odpady paleniskowe.

Ekstrakcja

Do wyznaczenia określonych składników rozpuszczalnych w odpadach paleniskowych zastosowano wodę destylowaną w stosunku ilościowym 1:10 (odpad:woda zgodnie z normą). Uzyskane wyniki badań jakości ekstraktów wodnych odpadów paleniskowych wskazują, że:

- ✓ odczyn ekstraktów jest silnie zasadowy, wartość stężenia jonów wodorowych pH waha się w okolicy 12,
- ✓ twardość całkowita jako CaCO_3 wynosi około 2356 mg/dm^3 ,
- ✓ zaw. jonów SO_4^{2-} wynoszą około 620 mg/dm^3 ,
- ✓ zaw. jonów Cl^- wynoszą około $8,6 \text{ mg/dm}^3$,
- ✓ zaw. jonów Ca^{+2} wynoszą około 968 mg/dm^3 .

Uzyskane wartości badanych związków przedostających się do odcieku w oparciu o rozporządzeniem M.O.Ś.Z.N.iL. z dnia 5.XI.1991r. - „Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi” przypisują te wody do III klasy czystości wód (załącznik nr 10). Zestawienie analizowanych wyników umieszczono w załączniku nr 4.

Tabela 5.1 Skład chemiczny popiołów lotnych ze spalania bełchatowskiego węgla brunatnego

Lp.	Skład w % masowych										Gęstość masy [Mg]	Moduły			Powierzchnia właściwa cm ² /g
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	CaO wolne	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃		Strata prażenia, %	krzemiany	glinowy	
1	46,2	18,1	5,6	0,4	21,9	2,7	0,8	0,1	0,3	5,1	2,6	2,17		0,31	2017
2	61,6	13,8	4,1	0,4	11,8	1,3	1,0	0,1	0,64	1,5	4,8	2,23		0,16	1197
3	36,6	17,5	5,8	0,2	28,8	6,0	1,3	0,1	0,4	6,9	1,8	2,55		0,48	3116
4	37,7	20,7	5,3	0,2	26,3	1,8	1,4	0,2	0,4	5,8	1,7	2,48	1,54	1,72	3204
5	44,8	22,6	8,7	0,2	16,2	0,5	1,9	0,1	0,3	2,1	1,9	2,32	2,82	3,96	2327
6	47,9	17,6	6,6	-	20,6	-	0,2	0,13	0,45	3,7	1,8	-	1,98	2,66	-
7	54,6	16,3	5,4	-	15,0	-	0,2	0,1	0,7	2,1	3,1	-	2,52	3,01	-
8	44,4	16,4	6,0	-	22,1	2,4	1,0	-	-	4,6	3,9	-	2,00	2,73	-
9	47,9	17,6	6,6	-	20,6	0,9	0,2	0,0	0,5	3,7	1,8	-	1,98	2,68	-
10	54,6	16,3	5,4	-	15,0	-	0,2	0,1	0,7	2,1	3,1	2,15	2,52	3,02	1200
11	40,5	18,0	6,1	-	26,7	2,6	0,2	0,2	0,3	4,6	2,5	2,47	1,68	2,96	4300
12	48,3	17,7	6,3	0,3	19,5	-	0,8	0,1	0,4	3,6	2,5	śr - 2,3	-	-	-

Uwaga: 1-5 według Giergiczny, Michmiewicz [9], 6-7 według Peukert, Thiel i Kania [63], 8 według Giergiczny i inni [8], 9-11 według Peukert, Thiel [62], 12 wg autora

Tabela 5.2. Skład chemiczny popiołów w zależności od kotła spalania

Numer kotła	Parametr	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO ₃	SO ₃
I	średnia	46,1	17,8	5,5	21,4	0,88	0,38	0,21	0,62	0,09	3,86
	przedział	8,5	2,6	1,7	6,3	0,86	0,15	0,14	0,74	0,06	1,94
	%	46,4	18,4	5,7	22,1	0,9	0,39	0,21	0,64	1,02	3,88
II	średnia	51,1	16,4	5,5	15,3	0,68	0,41	0,13	0,63	0,08	2,6
	przedział	13,4	4,2	7,3	6,7	0,76	0,18	0,15	0,81	0,04	1,52
	%	54,9	17,6	5,9	1,7	0,73	0,44	0,2	0,87	0,04	1,83
III	średnia	52,7	16,5	4,5	19,3	0,6	0,42	0,13	0,71	0,08	0,25
	przedział	16,7	3,7	1,2	7,1	0,71	0,3	0,13	0,97	0,04	1,6
	%	17,6	16,8	4,6	19,7	0,77	0,18	0,15	0,82	0,01	3,01
IV	średnia	49,1	16,3	4,7	21,5	0,48	0,41	0,19	0,73	0,07	3,42
	przedział	13,1	4,1	1,1	12,4	0,42	0,23	0,11	1,02	0,04	2,66
	%	50,0	17,0	4,8	22,0	0,49	0,24	0,19	0,75	0,07	3,5
V	średnia	46,2	15,5	5,7	19,9	0,56	0,32	0,20	0,67	0,07	3,64
	przedział	13,7	4,7	3,5	12,7	0,54	0,19	0,1	0,77	0,04	3,08
	%	49,8	16,7	6,1	21,4	0,6	0,35	0,21	0,81	0,08	3,32
VI	średnia	52,7	18,2	4,6	17,1	0,66	0,33	0,17	0,52	0,07	2,1
	przedział	5,38	3,2	1,5	5,6	0,83	0,16	0,08	0,72	0,03	1,0
	%	54,6	18,8	6,4	22,1	0,68	0,34	0,18	0,55	0,07	2,17
VII	średnia	52,0	16,3	6,7	15,3	0,39	0,37	0,17	0,55	0,06	2,16
	przedział	3,16	3,7	8,1	6,1	0,54	0,14	0,08	0,62	0,03	1,23
	%	55,3	17,3	7,2	16,2	0,41	0,38	0,18	0,58	0,06	2,3
VIII	średnia	51,7	17,1	8,6	12,3	0,34	0,38	0,15	0,41	0,01	1,53
	przedział	14,2	5,6	15,7	5,6	0,45	0,15	0,07	0,49	0,03	1,0
	%	56,0	18,5	9,3	13,3	0,36	0,4	0,16	0,44	0,06	1,65
IX	średnia	55,4	15,6	4,5	17,3	0,76	0,3	0,18	0,31	0,07	2,12
	przedział	9,9	3,7	0,9	4,4	0,67	0,14	0,08	0,28	0,03	0,88
	%	57	16,1	4,6	17,8	0,78	0,31	0,18	0,32	0,07	2,18
X	średnia	55,5	14,1	4,3	15,2	0,48	0,31	0,18	0,13	0,06	2,04
	przedział	13,7	4,4	1,9	5,5	0,18	0,18	0,12	0,35	0,03	0,85
	%	60,0	15,2	4,6	16,4	0,52	0,34	0,19	0,36	0,06	2,21
XI	średnia	42,6	13,9	10,7	16,2	0,81	0,36	0,21	0,31	0,06	4,02
	przedział	19,4	6,4	16,8	6,5	1,02	0,1	0,11	0,28	0,04	3,3
	%	47,7	15,6	12,1	18,1	0,58	0,36	0,21	0,35	0,06	4,5
XII	średnia	35,5	14,1	20,8	15,8	0,98	0,26	0,2	0,55	0,07	5,05
	przedział	18,6	9,4	28,8	4,4	1,18	0,13	0,03	0,44	0,03	3,98
	%	37,8	15,0	22,1	19,2	1,04	0,27	0,21	0,58	0,07	5,38

* dane Elektrownia Bełchatów

Tabela 5.3. Skład chemiczny popiołów w zależności od elektrofiltra

Numer elekt.	Parametr	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO ₃	SO ₃
I	średnia	51,1	17,1	5,08	19,6	0,92	0,43	0,21	0,65	0,09	2,84
	przedział	8,36	2,95	1,03	7,45	0,89	0,22	0,18	0,74	0,07	1,66
	%	52,0	17,4	5,2	20,0	0,94	0,44	0,21	0,65	0,02	2,9
II	średnia	41,6	18,3	5,91	25,6	0,79	0,35	0,22	0,55	0,09	5,77
	przedział	6,16	2,46	0,91	6,48	0,81	0,14	0,11	0,67	0,04	1,97
	%	42,4	18,6	6,0	26,1	0,8	0,36	0,22	0,56	0,09	5,92
III	średnia	39,4	18,2	6,01	25,8	0,85	0,36	0,24	0,56	0,1	5,77
	przedział	5,57	2,22	0,93	4,56	0,98	0,13	0,1	0,7	0,04	1,97
	%	49,1	18,6	6,23	26,5	0,97	0,35	0,22	0,57	0,09	5,92
IV	średnia	60,8	17,8	3,2	8,44	0,56	0,4	0,14	0,26	0,03	0,51
	przedział	8,48	4,89	1,0	2,67	0,82	0,39	0,09	0,28	0,03	0,33
	%	65,9	19,4	3,5	9,2	0,61	0,44	0,14	0,26	0,03	0,56
V	średnia	49,2	21,5	5,43	13,9	0,65	0,4	0,6	0,27	0,07	4,03
	przedział	14,4	5,46	0,24	5,59	0,63	0,07	0,06	0,15	0,04	6,7
	%	51,4	22,4	5,74	14,5	0,68	0,41	0,16	0,27	0,07	4,22
VI	średnia	49,5	17,3	6,09	25,6	1,58	0,55	0,23	1,05	0,09	3,6
	przedział	6,38	3,08	0,92	6,48	1,08	0,27	0,19	0,98	0,04	1,0
	%	46,8	16,4	5,76	24,3	1,4	0,52	0,21	0,93	0,09	3,4
cały zbiór	średnia	48,0	16,7	5,75	18,8	0,74	0,37	0,19	0,57	0,08	3,3
	przedział	12,3	4,28	6,66	8,0	0,82	0,2	0,13	0,72	0,06	2,15
	%	50,7	17,7	6,08	19,9	0,78	0,39	0,19	0,6	0,08	3,5

* dane Elektrownia Bełchatów

6. Problem składowania odpadów paleniskowych

– sposoby rozwiązań

Energia elektryczna uzyskiwana ze spalania węgla brunatnego lub kamiennego wiąże się z problemem zagospodarowania odpadów (popioły i żużle) powstałych w procesie spalania. Najczęściej i najszerzej stosowanym rozwiązaniem jest deponowanie tych materiałów na specjalnie zbudowanych składowiskach. To rozwiązanie wiąże się z możliwością zanieczyszczenia środowiska naturalnego, dlatego by przeciwdziałać niekorzystnemu wpływowi zdeponowanych materiałów poszukuje się możliwości ich gospodarczego wykorzystywania.

Poniżej zostały przedstawione najczęstsze sposoby gospodarczego wykorzystania odpadów paleniskowych oraz technologie ich deponowania.

6.1 Metody wykorzystania odpadów paleniskowych

Badania prowadzone nad gospodarczym sposobem wykorzystania odpadów paleniskowych ze spalania węgla brunatnego nasiliły się w latach sześćdziesiątych [4]. Efektem prowadzonych prac było coraz szersze wykorzystanie ich jako surowca do wielu produktów, między innymi:

- a) wytwarzania zestalonych zaczynów popiołowych w technologii utwardzania gruntów, nasypów, zwałowisk, dróg lokalnych i innych,
- b) produkcji spoiw bezcementowych,
- c) jako dodatku aktywnego do cementu,
- d) produkcji betonu,
- e) budowy dróg,
- f) wykorzystania w rolnictwie i ogrodnictwie,
- g) do podsadzki samo zestalającej w górnictwie podziemnym.

Ad. a

Jedną z możliwości zagospodarowania popiołów lotnych ze spalania węgla brunatnego jest ich utylizacja dla potrzeb technologii utwardzania gruntów, nasypów, zwałowisk, dróg i torowisk wewnątrzzakładowych.

Zainicjowane i kontynuowane przez różnych autorów [9,10,49,51,56] badania objęły popioły różnych typów, które różnicują się między sobą składem chemicznym i mineralnym.

Autorzy [9,10,49,51,56] dokładnie rozeznali składy chemiczne, mineralne oraz niektóre właściwości fizyczne i technologiczne badanych popiołów lotnych ze spalania węgla brunatnego. Do istotnych w tym sensie spostrzeżeń poznawczych między innymi należą:

- ✓ popioły typu glinowego o charakterze pucolanowym (pucolany – materiał naturalny lub sztuczny zawierający krzemionkę w postaci reaktywnej, która w obecności wody tworzy związki mające właściwości wiążące) należy aktywizować dodając do nich w odpowiedniej ilości składnik alkaliczny zaczyn popiołowy, np. wapno palone lub suchogazzone, klinkieru cementowego portlandzkiego albo cementu portlandzkiego względnie wysokowapniowych popiołów ze spalania węgla brunatnego [9], zestalony zaczyn popiołowy uzyskuje określoną wytrzymałość mechaniczną oraz wodo- i mrozoodporność,
- ✓ popioły typu wapniowego można aktywizować dodatkiem chlorku sodu (NaCl) lub wapnia (CaCl_2), uzyskując materiał (popiołobeton) lekki, porowaty, wodo- i mrozoodporny oraz o małym przewodnictwie cieplnym [51],
- ✓ badania składu fazowego twardniejących zaczynów popiołowych w warunkach poligonowych wykazały, że warstwa przypowierzchniowa materiału jest najbogatsza w CaCO_3 i nie zawiera ettryngitu (robocza nazwa uwodnionego siarczanoglinianu wapnia, stosowana w naukach związanych z badaniami betonu), który prawdopodobnie pod wpływem CO_2 atmosferycznego ulega rozkładowi na gips, wodorotlenek glinu i wodę [10]. Trwałość zestalonego zaczynu popiołowego, popiołobetonu zależy od zapewnienia warunków trwałości struktury ettryngitu, co można uzyskać przez zapewnienie środowiska alkalicznego, ograniczenie dostępu CO_2 atmosferycznego i zabezpieczenie twardniejącego zaczynu przed zbyt szybkim odwodnieniem [9].

W efekcie prowadzone badania doprowadziły do uzyskania następujących rezultatów:

- ✓ stwierdzono możliwość użycia aktywowanych NaCl lub CaCl_2 popiołów typu wapniowego z Elektrowni „Konin” do stabilizacji gruntów, uznając za optymalną mieszaninę gruntowo-popiołową w przeliczeniu na suchą masę: 80% mas. gruntu+19% mas. popiołu lotnego + 1% mas. NaCl lub CaCl_2 [51],

- ✓ stwierdzono przydatność popiołów lotnych typu wapniowego z Elektrowni „Adamów” do wykonania warstwy nośnej pod torami koparek bez wymieszania z gruntem [45],
- ✓ opracowano technologię wykorzystania popiołów lotnych z Elektrowni „Pątnów”, „Konin” i „Adamów” do wzmacniania podłoża gruntowego [56],
- ✓ uzyskano zaczyn zestalony z mieszaniny popiołów, tj. 50% mas. popiołu turoszowskiego + 50% mas. popiołu z Elektrowni „Konin” o wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe rzędu 6,42 MPa [9],
- ✓ zbadano z rezultatem pozytywnym przydatność popiołów lotnych z Bełchatowa w celu uzyskania zaczynów zestalonych dla określonych potrzeb [8].

Ad. b

Skład chemiczny i mineralogiczny odpadów paleniskowych umożliwia wywołanie ich aktywacji w celu przeprowadzenia procesu wiązania i twardnienia. W roku 1972 S. Habiniak i K. Marczuk [17] ogłosili wyniki swoich badań dotyczących wpływu niektórych domieszek na wytrzymałość na ściskanie tworzyw uzyskiwanych z popiołów lotnych typu wapniowego z węgla brunatnego spalanego w elektrowni Konin. Autorzy jako aktywujących domieszek użyli: glinki jaroszowskiej, chlorku wapnia, cementu portlandzkiego marki 25, szkła wodnego, mączki krzemionkowej i mączki z tlenku glinu. Najlepsze efekty otrzymywano przy użyciu: 20% dodatku cementu oraz mieszaniny o łącznej zawartości 10% mączki krzemionkowej + 5% mączki z tlenku glinu. Niestety otrzymane tworzywa wykazywały zbyt niską wytrzymałość aby można je było stosować w budownictwie.

H. Mużyło i S. Habiniak w 1972 r. [55] ogłosili wyniki własnych badań dotyczących sposobu wytwarzania spoiw bezcementowych. Badania autorów obejmowały trzy etapy, a mianowicie:

- ✓ etap I dotyczył uzyskania zestalonych zaczynów popiołowych i badania ich wytrzymałości mechanicznej,
- ✓ w etapie II stosowano domieszki, tj. 25% mas. cementu portlandzkiego marki 25 lub 5% wag. chlorku wapnia, względnie 20% mas. szkła wodnego,
- ✓ w III etapie zastosowano aktywator fluorokrzemianowy z dodatkiem węglanu potasowego.

Po wykonaniu 3 etapów stwierdzono, że jako aktywatory do spoiw bezcementowych z popiołów lotnych nadają się fluorokrzemian potasu i węglan potasu w stosunku masowym 1,000/0,666 i przy 7% zawartości w mieszaninie. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie tak otrzymanych próbek wynosiła około 30 MPa.

Przytoczone rezultaty badawcze [55] potwierdzają możliwość otrzymywania spoiw bezcementowych z popiołów lotnych typu wapniowego z węgla brunatnego, przy zastosowaniu odpowiednich aktywatorów, zdatnych do produkcji elementów budowlanych.

Ad. c

W technologii produkcji klinkieru cementowego wykorzystuje się tzw. surowce „wysokie” i „niskie” w odpowiednich proporcjach. Jako pierwsze wykorzystuje się wapienie lub wapienie margliste, natomiast surowce „niskie” zawierają głównie minerały glinokrzemianowe, obecne w marglach ilastych, iłach lub glinach. Popioły lotne z węgla brunatnego bełchatowskiego pod względem składu są podobne do surowców glinonośnych, tę właśnie właściwość wykorzystali J. Peukert, A. Thiel i J. Kania [63] podejmując badania nad przydatnością popiołów do produkcji klinkieru portlandzkiego.

Na podstawie przeprowadzonych badań autorzy stwierdzili:

„- badania i obliczenia mieszanin surowcowych dowiodły, że popiół lotny z Bełchatowa spełnia funkcję substytutu łupka glinonośnego z Łęczycy, przy czym dla uzyskania klinkieru o takim samym składzie ilość popiołu w mieszaninie jest około 2% mniejsza aniżeli łupka, zwiększenie zawartości Al_2O_3 w popiele w stosunku do łupka powoduje zwiększenie ilości dodawanego surowca żelazonośnego,
- w mokrej metodzie produkcji klinkieru można używać tylko popiołu wcześniej poddanego hydratacji. Popiół suchy zagęszcza szlam wskutek reakcji tworzenia się etryngitu z uwolnionego hydrolitycznie wapna, anhydrytu i glinu.”

Za wyborem popiołu lotnego z węgla brunatnego jako surowca „niskiego” przemawia dodatkowy fakt, którym jest oszczędność energii spowodowana dwoma właściwościami tego materiału. Popiół lotny jest materiałem drobnoziarnistym i wymaga mniejszego wkładu energii w procesie mielenia zestawu surowego, ponadto popiół lotny jest materiałem, który przeszedł już obróbkę wstępną w paleniskach kotłów i dlatego nie wymaga dużych ilości ciepła w najbardziej obciążonych strefach pieca obrotowego do produkcji klinkieru, wskutek czego wcześniej można tworzyć fazę ciekłą, co sprzyja szybszemu przebiegowi określonych reakcji.

Ad. d

Badania nad wykorzystaniem popiołu lotnego jako aktywnego dodatku do cementu podjęto w latach siedemdziesiątych. Celem prac było określenie wpływu popiołów na:

- ✓ ciepło hydratacji i kinetykę jego wiązania [89],
- ✓ czas wiązania [62,90],
- ✓ wytrzymałość mechaniczną [8,62,90].

Otrzymano następujące wnioski:

- ✓ wzrost ilości popiołu lotnego, niezależnie od jego rodzaju, powoduje spadek ciepła hydratacji w porównaniu do ciepła samego cementu portlandzkiego,
- ✓ kinetyka wydzielania ciepła oraz ilość wydzielonego ciepła zależą od rodzaju i ilości popiołu w spoiwie,
- ✓ wzrost dodatku popiołów lotnych w zaprawach cementowych powoduje wydłużenie czasu wiązania, przy czym wydłużenie to jest znaczniejsze w przypadku popiołów krzemianowych lub glinowych,
- ✓ materiały wiążące z dodatkiem popiołów o charakterze glinowym i krzemianowym po dłuższym okresie sezonowania osiągały wyższe wytrzymałości na ściskanie jednoosiowe aniżeli cement bazowy,
- ✓ materiały wiążące z dodatkiem popiołów wapniowych po dłuższym okresie sezonowania osiągały niższą wytrzymałość na ściskanie jednoosiowe aniżeli cement bazowy.

Badania wykazały, że oddziaływania popiołu lotnego na spoiwo jest silnie powiązane z rodzajem zastosowanego materiału tj. popioły typu wapniowego wykazują znacznie krótsze czasy wiązań oraz wyższe ciepło hydratacji niż popioły typu krzemianowego i glinowego, ale mają niższe wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie. Znaczny wpływ na pozytywny efekt dodatku popiołu lotnego do cementu ma odpowiednia obróbka wykorzystanego materiału.

Ad. e

W budownictwie drogowym stosuje się odpady paleniskowe z węgla brunatnego, które są wykorzystywane do następujących robót [61]:

- ✓ stabilizacji gruntów spoistych w celu uzyskania warstwy ulepszonego podłoża dróg, placów i linii kolejowych,

- ✓ stabilizacji gruntów sypkich z dodatkiem cementu dla dolnej warstwy podbudowy dróg o dowolnym obciążeniu ruchem lub górnej warstwy podbudowy dróg o obciążeniu lekkim względnie średnim,
- ✓ jako dodatku przy stabilizacji gruntów asfaltem upłynnionym w celu uzyskania ulepszonego podłoża,
- ✓ jako dodatku plastyfikującego oraz częściowego zamiennika cementu przy produkcji betonów ciężkich,
- ✓ produkcji betonów popiołowych służących do podbudowy dolnej lub górnej warstwy drogowej jako dodatki do produkcji drogowych mas bitumicznych.

Przydatność w budownictwie drogowym wykazują popioły lotne z węgla brunatnego typu wapniowego, o dużej zawartości tlenku wapnia CaO wolnego, który nadaje im charakter szczególnej aktywności chemicznej.

Ad. f

Popioły lotne powstające w wyniku spalania węgla brunatnego można wykorzystać jako nawozy wapniowe, świadczą o tym:

- ✓ korzystna ilość wolnego wapnia CaO,
- ✓ stosunek wapnia do magnezu w popiołach należy uznać za optymalny, ponieważ odpowiada stosunkowi tych składników w tak zwanych glebach idealnych (7:1),
- ✓ ilość zawartych w popiołach lotnych mikroelementów pokrywa w przybliżeniu zapotrzebowanie pokarmowe roślin,
- ✓ nie obserwuje się zgrużlenia gleby przy nawożeniu popiołami lotnymi.

Popioły lotne okazały się pełnowartościowym nawozem wapniowym szczególnie korzystnym dla gleb lekkich o niskiej zawartości magnezu. Potwierdziły to liczne badania między innymi prowadzone przez WOPR Bartoszewice w latach 1974-1976 [94].

Ad. g

Odpady ze spalania węgla brunatnego, wykazujące właściwości wiążące zostały przebadane jako komponent do podsadzek samozestalających. W celu ustalenia składu i właściwości mieszanin użyto w różnych proporcjach odpadów, cementu lub gipsu badając takie właściwości mieszanin, jak: rozlewność, wytrzymałość, czas i siłę wiązania oraz nośność.

Na podstawie otrzymanych badań [89] można stwierdzić, że odpady paleniskowe, ze spalania węgla brunatnych nadają się do podsadzki samozestalającej, przy czym jako

aktywatory w pełni wystarcza 2% dodatek cementu lub 5% dodatek gipsu w obu przypadkach przy co najmniej 34% zawartości wody w mieszaninie.

6.2 Obecne technologie składowania odpadów paleniskowych

Badania nad gospodarczym wykorzystaniem odpadów paleniskowych nie spowodowały rewolucji w sposobie zagospodarowania tych materiałów. Nadal podstawową metodą utylizacji odpadów jest ich składowanie na specjalnie przygotowanych do tego celu składowiskach. W zależności od warunków techniczno-ekonomicznych stosuje się różne metody składowania. Do transportu materiału z elektrowni na składowisko stosuje następujące technologie:

- ✓ mechaniczna – odpady transportuje się przenośnikami taśmowymi, transportowany materiał w czasie przesyłania jest zraszany wodą oraz dodatkowo stosuje się obudowy przenośników w celu zmniejszenia pylenia,
- ✓ hydrauliczna – odpady transportowane są układem rurociągów, w których mieszanina odpadów i wody jest przesyłana na składowisko,
- ✓ pneumatyczna – odpady transportowane są układem rurociągów na składowisko
- ✓ kolejowa – odpady przewozi się specjalistycznym taborem kolejowym z elektrowni do miejsca składowania, gdzie następuje rozładunek wagonów kolejowych.

Po przetransportowaniu odpadów na składowisko następuje ich zdeponowanie, w zależności od sposobu transportu stosuje się różne metody składowania.

Transport mechaniczny umożliwia dwie metody składowania odpadów. Po pierwsze materiał może zostać zdeponowany na składowisku za pomocą zwałowarki. Takie rozwiązanie stosowane jest zarówno przy deponowaniu materiału na specjalnie przygotowanym składowisku jak i na zwałowisku po wcześniejszym wymieszaniu odpadów paleniskowych z nadkładem. Druga możliwość to wymieszanie transportowanych odpadów z wodą i zdeponowanie takiej mieszaniny na składowisku.

W przypadku transportu hydraulicznego mieszaniną wody i odpadów wypełnia się odpowiednio przygotowane kwatery za pomocą rurociągów zrzutowych. Woda jest odfiltrowywana za pomocą studni przelewowych i ponownie wykorzystana jako medium transportujące odpady.

Po przetransportowaniu odpadów metodą pneumatyczną w pobliżu składowiska następuje wymieszanie transportowanego materiału z wodą tworząc tak zwaną suspen-

sje (mieszanina wody i odpadów o stosunku mniejszym lub równym 1,0), która składowana jest w przygotowanych kwaterach.

Szczegółowy opis sposobów deponowania odpadów paleniskowych został zawężony tylko do Elektrowni Bełchatów S.A. (rys. 6.2), ponieważ zakres pracy dotyczy odpadów pochodzących z tej elektrowni. Stosowane są tam dwie metody składowania odpadów paleniskowych:

- a) metoda sucha (mechaniczna) polegająca na przetransportowaniu popiołów systemem obudowanych przenośników i zwałowaniu razem z nadkładem (rys. 6.3),
- b) metoda hydrauliczna, w której odpady paleniskowe są transportowane układem rurociągów i składowane hydraulicznie (rys. 6.4).

Technologią suchą (mechaniczną) popioły transportowane są do wyrobiska i deponowane na zwałowisku wewnętrznym po wcześniejszym wymieszaniu z nadkładem w proporcji maksymalnie 1:10 (popiół : nadkład). Do ich transportu wykorzystuje się system obudowanych przenośników taśmowych (B=1800) biegnących od elektrowni do krawędzi O/Bełchatów, a następnie sprowadza się je w dół przenośnikami pochylnymi na poziomy V, IV i III. Popioły przed zsypaniem na przenośniki są nawilżane wodą z kondycjonerem (nietoksyczne i nielotne składniki sorbuujące na powierzchni cząstek popiołów) w granulatorach. W czasie transportu następuje dodatkowe zraszanie popiołów wodą na wszystkich przesypach. Wszystkie te zabiegi mają na celu zmniejszenie szkodliwego wpływu transportowanych popiołów na środowisko objawiającego się w postaci nadmiernego pylenia. Technologią tą składowane są popioły wychwytywane w pierwszej, drugiej i trzeciej strefie elektrofiltrów. Do końca 2004 roku, tą metodą zwałowano ~27 mln m³ popiołu.

Wykorzystanie tej metody wg dotychczasowych ustaleń jest możliwe po spełnieniu następujących warunków:

- ✓ popiół z nadkładem zwałowany jest przez trzy najwyżej pracujące zwałowarki na poziomach zwałowych III, IV i V,
- ✓ wierzchowina zwałowiska wewnętrznego budowana z mieszaniny popiołowo-nadkładowej jest przykrywana 5 m warstwą nadkładu,
- ✓ warstwa zwałowiska o szerokości 50 m w rejonie skarp bocznych wystających ponad otaczający teren jest budowana wyłącznie z nadkładu.

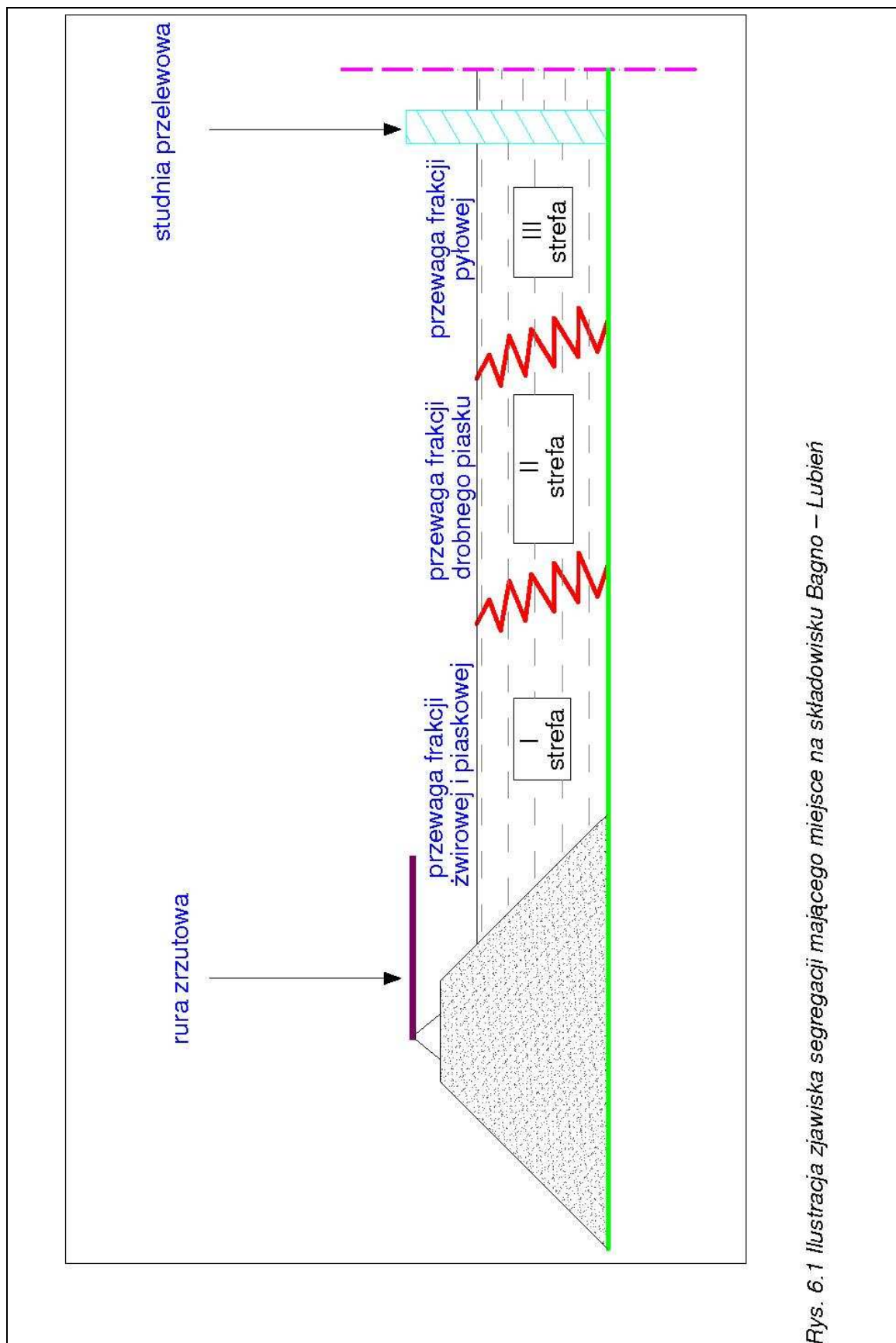
Drugą metodą transportuje się odpady na składowisko nadpoziomowe Bagno-Lubień. Technologia hydrauliczna polega na wymieszaniu odpadów paleniskowych z wodą tworząc mieszaninę zdolną do przetransportowania jej systemem rurociągów z Elektrowni na składowisko, na dzień dzisiejszy stosunek masowy odpadów i wody wynosi 1:10. Obecnie tą metoda składowuje się źle oraz popioły wychwytywane przed elektrofiltrem. Składowisko podzielone jest na pięć kwater, które napełniane są rotacyjnie. Jeżeli składowanie odbywa się na jednej z kwater, wcześniej eksploatowana kwatera jest osuszana poprzez spust wody nadosadowej, a jej obwałowania podnoszone przez nagarnianie spychaczami wcześniej zdeponowanego popiołu. Taka technologia budowy obwałowań umożliwi zakwalifikowanie użytego popiołu jako wykorzystany gospodarczo.

Podczas hydraulicznego składowania popiołów w zbiornikach występuje zjawisko segregacji (rys. 6.1) Cząstki grubsze, o większej gęstości osadzają się szybciej, natomiast te drobniejsze przemieszczają się wraz z wodą w kierunku studni przelewowych gdzie osiadają. Na skutek segregacji w różnych miejscach kwatery osadzają się odpady, których cechy są zróżnicowane i zmieniają się w czasie. W poszczególnych strefach składowiska występuje zróżnicowanie takich cech jak: skład granulometryczny, porowatość, współczynnik filtracji, kąt tarcia wewnętrzznego, gęstości. Występują trzy strefy między obwałowaniem a studniami przelewowymi: zrzutu, przejściowa i ujęcia.

W strefie zrzutu osadzają się przede wszystkim ziarna frakcji żwirowej i piaskowej, w strefie przejściowej dominuje frakcja piaskowa i pyłowa a w strefie ujęciowej przeważają piaski drobne, pyły, ły i części organiczne.

Poziom wody osadowej ma bardzo istotny wpływ na kształtowanie własności zdeponowanych odpadów na składowisku. Utrzymywanie wysokiego stanu wody umożliwia spłaszczenie stożków zrzutowych i zwiększenie zasięgu rozplywu składowanego materiału. Przedłużenie wylotów rur zrzutowych powoduje zmiany kształtu stożka rozplywowego i bardziej zróżnicowane krzywe uziarnienia przy mniej zróżnicowanych cechach fizycznych.

Uziarnienie popiołów na składowisku waha się od ziaren dużych wielkością odpowiadającym żwirom do drobnych przypominających pyły. Zróżnicowanie to jest tym większe im dłuższa jest odległość od końcówek zrzutowych do studni przelewowych. W przypadku dotychczasowego składowiska nadpoziomowego odległość ta zmienia się wraz z podnoszeniem obwałowań i poziomów składowania w poszczególnych kwaterach.



Rys. 6.1 Ilustracja zjawiska segregacji mającego miejsce na składowisku Bagno – Lubień

Obecnie budowane jest nowe składowisko odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym kopalni „Bełchatów” S.A., do którego odpady będą transportowane metodą hydrauliczną. Planowane jest zbudowanie trzech zbiorników. Wszystkie osadniki będą uszczelniane za pomocą warstw ilowych i folii. Dno zbiorników wykładane jest półtora metrową warstwą zagęszczonych i odpowiednio przygotowanych ilów. Zastosowane grunty ilowe spełniają wymagania stawiane mineralnym materiałom izolacyjnym, tj. współczynnik filtracji $< 10^{-9}$ m/s.

Zrzut popiołu odbywać się będzie ze wszystkich stron, gdzie rurociągi zrzutowe rozstawione są równomiernie. Po wypełnieniu i spuszczeniu wody nadosadowej zbiornik popiołowy przykryty będzie warstwą (ok. 3 m) nadkładu, który z czasem będzie zrehabilitowany. Na składowisku deponowane będą wszystkie odpady paleniskowe uzyskiwane z Elektrowni Bełchatów S.A. w okresie od 2005 do około 2016 roku.

6.3 Proponowane metody składowania odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A.

Możliwość wykorzystanie dotychczas stosowanych (w nie zmienionej formie) i planowanych metod składowania odpadów paleniskowych z Elektrowni Bełchatów S.A. zakończy się w około 2016 roku. Po tym okresie pojawia się problem deponowania popiołów. Istnieje techniczna możliwość zastosowania nowych technologii składowania odpadów paleniskowych, w których będzie można wykorzystać obecnie stosowane systemy transportowe i jako nowe miejsce dla składowiska przyjąć poziomy zwałowiska wewnętrznego zlokalizowanego w wyrobisku Bełchatów. Należy także rozpatrzyć możliwość wykorzystania do tego celu obecnie stosowanych systemów składowania odpadów paleniskowych w Elektrowni „Bełchatów” S.A., przy założeniu dokonania odpowiednich modyfikacji w ich działaniu.

Nowe metody składowania to:

1. Metoda suspensji (transport i składowanie hydrauliczne).
2. Metoda mechaniczna - zmodyfikowana (transport przenośnikami – składowanie w formie suspensji).

Ad. 1 Istotą technologii suspensji jest zjawisko tiksotropii. Poprzez tiksotropie rozumiemy: „zjawisko upłynniania się żeli przy mechanicznym działaniu (mieszanie, wstrząsy itp.) i zestalanie się po pewnym czasie ponownie na żel, analogiczny do żelu pierwot-

nego (...). Warunkiem zachodzenia tiksotropii jest zdolność przytrzymywania przez cząstki żelu warstw cieczy” [34].

Opierając się na znajomości składu chemicznego i fizycznego odpadów paleniskowych można przyjąć, że przez ich intensywne mieszanie z wodą w ilości odpowiadającej objętości międzyziarnowej będzie można uzyskać tiksotropowe suspensje – łatwo transportowane hydraulicznie i ulegające zestaleniu na składowisku.

W pracy dr inż. Jana J. Hycnara [21] „Własności fizykochemiczne suspensji popiołowo-wodnych” zostały przedstawione wyniki badań suspensji otrzymanej z popiołów typu K. Analizie poddano mieszaniny o stosunkach popiół – woda (p:w) od 2,2:1 do 1:1. Rozpływy takich mieszanin są proporcjonalne do zawartości wody w suspensji i wahają się w granicach od 135 do 260 mm. Zawartość wody w suspensji popiołowo-wodnej wpływa na jej lepkość dynamiczną i kinematyczną (tabela 6.1)

Tabela 6.1 Zależności lepkości suspensji utworzonej z popiołu „K” od ilości wody (wskaźnik p:w) [21]

Wskaźnik p:w	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Lepkość dynamiczna [N s m ⁻²]	Lepkość kinematyczna [m s ⁻² 10 ⁻⁵]
2,2:1	1,540	2,10	136,36
2,1:1	1,535	1,64	106,84
2,0:1	1,520	1,20	75,95
1,9:1	1,510	0,82	54,31
1,75:1	1,490	0,42	28,19
1,67:1	1,475	0,30	20,03
1,5:1	1,450	0,12	8,28
1,25:1	1,370	0,045	3,28
1:1	1,310	0,017	1,30

Po przeanalizowaniu wyników tych badań, za suspensje tiksotropowe, transportowalne hydraulicznie i ulegające zestaleniu na składowisku uznano mieszaniny o konsystencji w granicach od (2,0:1) do (1,67:1). Suspensje te charakteryzują się zawartością wody w ilości 33,3-37,5 % mas.; rozplływem 190-235 mm; lepkością dynamiczną w granicach 0,3-1,2 Nsm⁻² i kinematyczną 20,03-78,95 ms⁻²10⁻⁵ [21].

Odpady paleniskowe uzyskiwane ze spalania węgla brunatnego uzyskiwanego z Kopalni „Bełchatów” S.A. nadają się do transportu metodą suspensji, lecz infrastruktura wykorzystywana w obecnie stosowanej technologii hydraulicznej musi ulec całkowitej przebudowie by dostosować ją do potrzeb tej technologii.

Technologia suspensji wykazuje pozytywne efekty do których należą: zmniejszenie ilości wody potrzebnej do transportu popiołów, mniejsze zużycie energii i materia-

łów, wytworzenie złoża bardziej skonsolidowanego, a przez to znacznie mniej zanieczyszczającego wody gruntowe, dzięki czemu realizujemy podstawowe założenie ograniczenia niekorzystnego wpływu składowanych materiałów na środowisko wodne.

Ad. 2 Metoda mechaniczna - zmodyfikowana polega na przetransportowaniu przenośnikami zwilżonych oraz z kondycjonowanych odpadów paleniskowych na składowisko, gdzie następuje ich wymieszanie z wodą i zdeponowanie w postaci pulpy w kwaterach. Proporcje między wodą a odpadami są tak dobrane by składowany materiał zastygł w postaci związanej, dzięki temu ograniczamy jego niekorzystny wpływ na środowisko.

Technologia mechaniczna - zmodyfikowana wykorzystuje istniejącą infrastrukturę i doświadczenia związane z transportem popiołów na zwałowisko wewnętrzne. Transportowany popiół zostaje poddany obróbce polegającej na dodaniu kondycjonera w ilości 0,03% w stosunku do strumienia suchej masy kondycjonowanego popiołu, w czasie jego nawilżenia w granulatorach oraz nawilżaniu wodą na przesypach w czasie jego transportu z elektrowni do wyrobiska. Do transportu wykorzystuje się system obudowanych przenośników taśmowych (B=1800).

W przypadku metody zmodyfikowanej będzie występowała taka sama procedura postępowania przy przesyłaniu odpadów z elektrowni na składowisko. Po przetransportowaniu materiału w okolice składowiska nastąpi jego dostarczenie do zlokalizowanego tam zakładu produkcji suspensji, która będzie lokowana w odpowiednio przygotowanych polach. Odpady paleniskowe podane takiej obróbce po zdeponowaniu na składowisku uzyskują podobną konsystencję i właściwości jak odpady składowane metodą suspensji.

Zastosowane zabezpieczenia w postaci nawilżania i kondycjonowania odpadów paleniskowych umożliwiają znaczne ograniczenie emisji cząsteczek pyłu do środowiska w czasie przesyłania materiału na składowisko, dzięki czemu eliminujemy główną wadę mechanicznego transportu odpadów paleniskowych, natomiast zastosowanie zakładu produkcji suspensji i składowanie odpadów paleniskowych w formie pulpy, która po zastygnięciu uzyskuje związaną formę znacznie ograniczy niekorzystne oddziaływanie zdeponowanych materiałów na środowisko wodne. Zastosowania tej technologii jako jedynej metody przesyłania odpadów z elektrowni na składowisko wiąże się z rozwiązaniem pewnych problemów technologicznych. Infrastruktura wykorzystywana w metodzie mechanicznej, a docelowo w mechanicznej – zmodyfikowanej, nie jest przystosowana do składowania żużli i popiołów wychwytywanych przed elektrofiltrami. Składowanie

odpadów paleniskowych w postaci suspensji wymaga wybudowania zakładu wytwarzania suspensji w rejonie lokalizacji składowisk. W zależności od ilości i miejsc posadowienia zbiorników na odpady paleniskowe lokalizacja zakładu wytwarzania suspensji musi być dokładnie przeanalizowana by zapewnić jak największą ekonomiczność tej metody. Opisane problemy nie eliminują całkowicie tej metody, ale zmuszają do wykonania głębokiej analizy kosztów jej dostosowania dla pełnej obsługi technologicznej elektrowni.

Następna technologia składowania odpadów paleniskowych jaka może zostać wykorzystana do deponowania materiału w składowiskach zlokalizowanych na poziomach zwałowiska wewnętrznego to metoda hydrauliczna. Obecnie metodą tą składowane są żużle i popioły wychwytywane przed elektrofiltrem na składowisku Bagno-Lubień, a w szczególnych przypadkach także popioły spod elektrofiltrów. Po wybudowaniu składowisk na wierzchołku zwałowiska wewnętrznego metodą tą będą transportowane wszystkie odpady paleniskowe uzyskiwane w Elektrowni „Bełchatów” S.A.

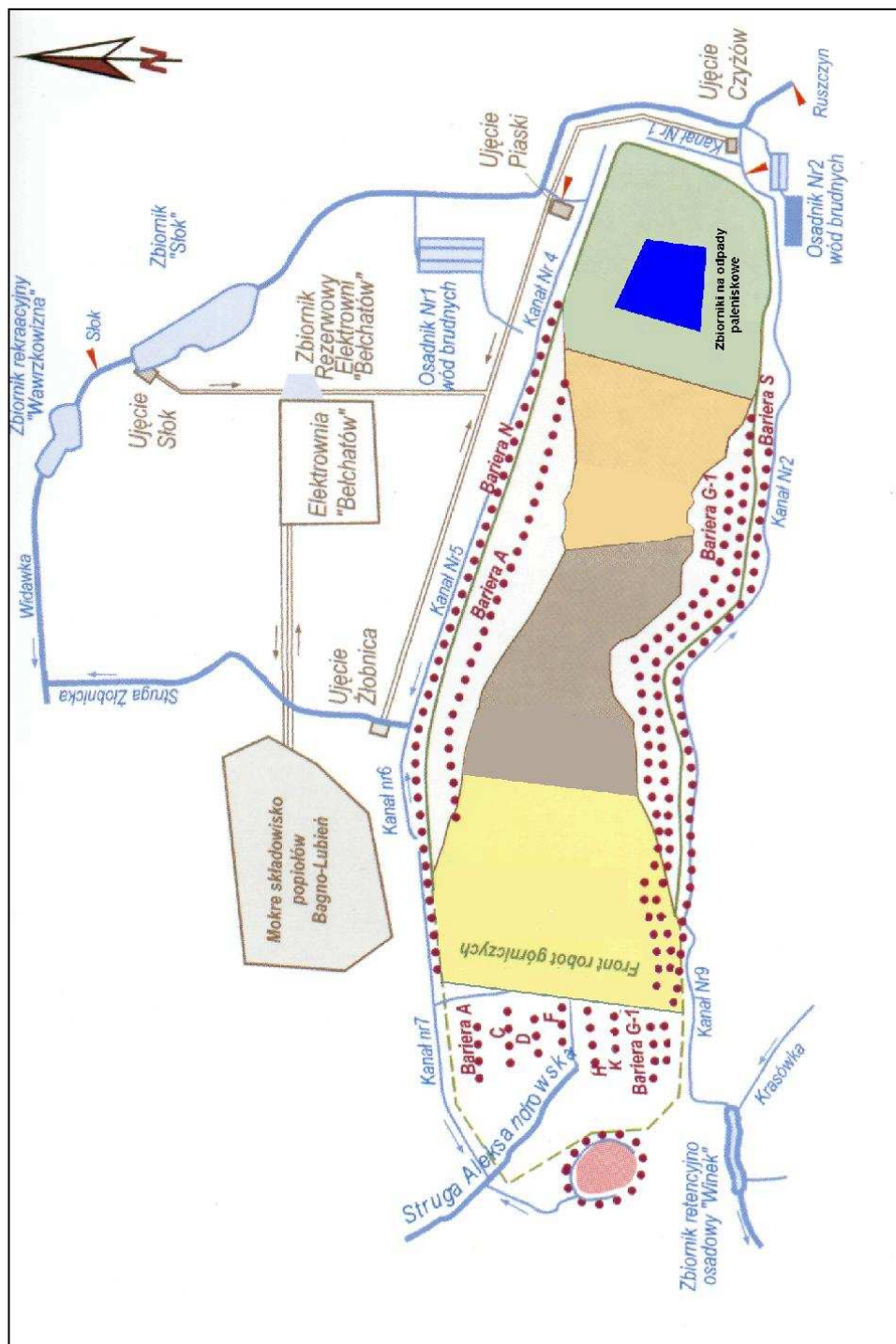
Metoda ta posiada poważną wadę, którą jest zjawisko segregacji składowanych odpadów, powodujące wytworzenie się stref na składowisku, gdzie materiały wykazują znaczące zróżnicowanie cech fizycznych. Brak jednolitej postaci odpadów zdeponowanych na składowisku jest główną przyczyną braku możliwości ich wiązania. Chęć stosowania tej technologii do deponowania odpadów paleniskowych w składowiskach zlokalizowanych poniżej poziomu terenu na poziomach zwałowiska wewnętrznego wymaga dokonania modyfikacji sposobu zrzutu mieszaniny wody i odpadów na składowisko. Podstawowym założeniem jest ograniczenie zjawiska segregacji, które można zrealizować poprzez zmianę geometrii kwater, do których lokuje się odpady. Kwatery muszą mieć mniejszą powierzchnię od stosowanych obecnie, natomiast można zwiększyć ich objętość poprzez ich głębokość. Głębsze pola ułatwią prawidłową gospodarkę wodą nadosadową, dzięki czemu dodatkowo zmniejszy się ryzyko pojawienia się zjawiska segregacji. Wymiary kwater są uzależnione od ilości zastosowanych rurociągów zrzutowych.

Zastosowanie przedstawionych wskazówek spowoduje zdeponowanie odpadów w formie skonsolidowanej. Zmiany sposobu składowania odpadów, umożliwiające wiązanie odpadów wymagają wykonania modyfikacji obecnie stosowanej metody hydraulicznej. Nowe procedury składowania odpadów zastosowane w metodzie hydraulicznej powodują jej zmianę, dlatego autor nową metodę uwzględniającą modyfikacje nazwał

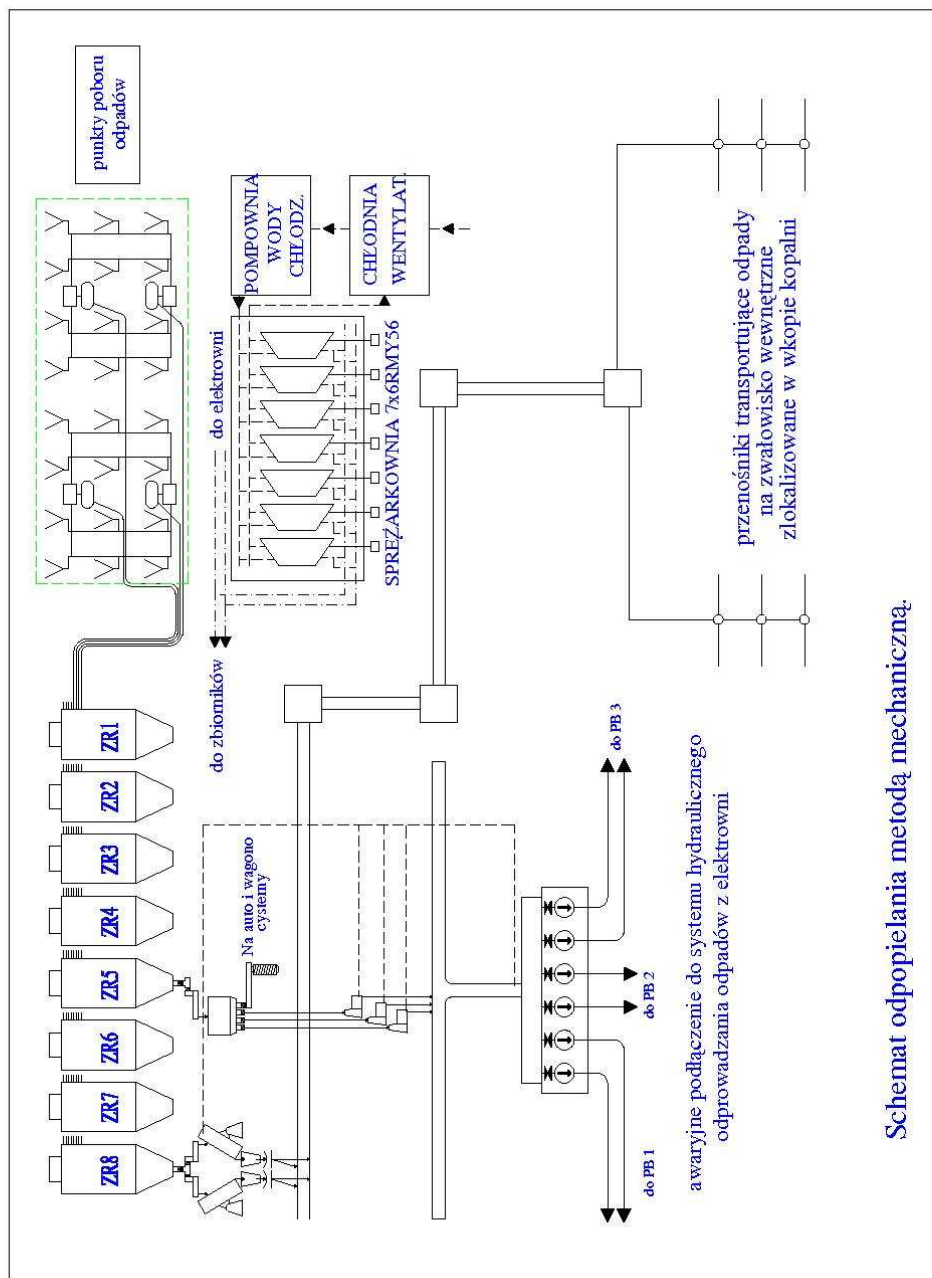
metodą hydrauliczną – zmodyfikowaną. Badania i analizy wykonane w dalszej części pracy dotyczyły metody hydraulicznej – zmodyfikowanej. Dokładne wytyczne sposobu składowania odpadów tą metodą zostały ujęte w rozdziale 12 rozprawy.

Ostatnia metoda badana pod kątem wykorzystania jej do składowania odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A. to technologia mechaniczna. W chwili obecnej, technologią tą składowuje się popioły wychwytywane w pierwszej, drugiej i trzeciej strefie elektrofiltrów i deponuje się je na zwałowisku wewnętrznym. Obecnie jej stosowanie jest uwarunkowane spełnieniem odpowiednich wymagań związanych z miejscem składowania mieszaniny odpadowo-gruntowej, proporcji między składowanymi odpadami i nadkładem oraz odpowiednim zabezpieczeniem zdeponowanego materiału.

Dalsza eksploatacja tej metody jest uwarunkowana od strategii składowania odpadów paleniskowych przyjętej w Elektrowni Bełchatów. Pomysł przedłużenia składowania tą metodą, wiąże się z deponowaniem odpadów poniżej poziomu zwierciadła wód gruntowych. Taka sytuacja wymusza opracowanie bezpiecznych procedur deponowania składowanych materiałów, które zabezpieczą środowisko wodne przed nadmiernym zanieczyszczeniem związkami wypłukanymi przez wodę infiltrującą przez zwałowisko wewnętrzne. Wykorzystanie nadkładu do składowania odpadów paleniskowych ogranicza możliwość rozwoju tej technologii. Brak możliwości składowania nadkładu w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, a tym samym wstrzymanie deponowania odpadów klasyfikuje technologię mechaniczną jako **metodę pomocniczą** występującą wspólnie z główną technologią składowania odpadów.

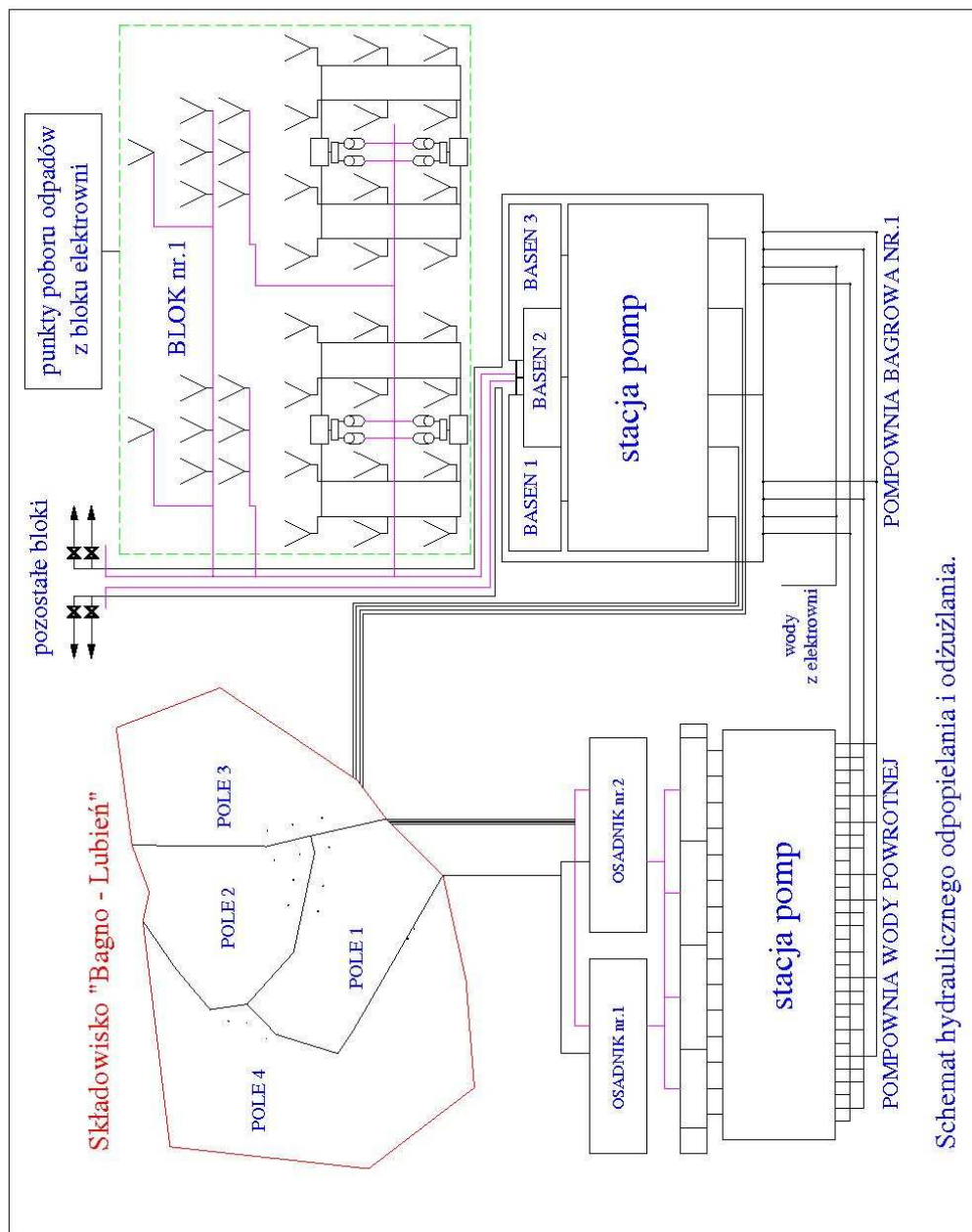


Rys. 6.2 Lokalizacja składowisk odpadów paleniskowych Elektrowni Belchatów S.A.



Schemat odpopielania metodą mechaniczną.

Rys. 6.3 Schemat mechanicznej technologii składowania odpadów paleniskowych



Schemat hydraulicznego odprowadzenia i odzulfiania.

Rys. 6.4 Schemat hydraulicznej technologii składowania odpadów paleniskowych

7. Metodyka badań

Badania wykonane dla potrzeb niniejszej pracy były w większości badaniami autorskimi. Ich realizacja związana była z koniecznością opracowania dla nich indywidualnych procedur badawczych. Autor w opracowywaniu procedur posiłkował się istniejącymi normami stosowanymi w dziedzinach, z którymi dane badania były związane.

Większość wykonanych badań została przeprowadzona bezpośrednio przez autora pracy. Jedynie analiza chemiczna odcieków na zlecenia autora i zgodnie z programem badań została opracowana przez Laboratorium Badań Chemicznych Wód Instytutu Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor-Instytut”. Jest to jednostka specjalizująca się w badaniach chemicznych wód.

Dla wszystkich wykonanych badań pierwszym etapem prac było przygotowanie prób dla każdej analizowanej metody deponowania odpadów. Przeprowadzone badania wykonano na przestrzeni trzech lat od 2001 do 2003 roku. W tym czasie kilkakrotnie występowała potrzeba wykonania prób badawczych. Za każdym razem użyta technologia wykonania prób była taka sama. Procedury wykonania prób badawczych dla analizowanych metod opisano poniżej.

Metoda suspensji

W tej metodzie materiał będzie transportowany systemem rurociągów z elektrowni na składowisko. Medium transportującym będzie woda. Stosunek masowy wody do popiołu umożliwiający transport odpadów rurociągami musi zawierać się w przedziale od 0,52 do 0,58. W przypadku opisywanych badań stosunek ten wynosił 0,54.

W celu utworzenia próby następowało wymieszanie odpadów z wodą przez około 3 minuty. W tym czasie substancja poddana obróbce mechanicznej przyjmowała stan płynny. Uzyskane parametry mieszaniny gwarantują jej bezpieczne przetransportowanie na składowisko (czas wiązania wynosi 78 godzin, a czas transportu na składowisko około 1 godziny).

Po przygotowaniu próby umieszczono ją w formach (w kształcie walca o wymiarach 80/80 mm), które następnie do momentu związania umieszczono w szafie klimatycznej lub na świeżym powietrzu, w zależności od rodzaju przeprowadzonych badań.

Metoda mechaniczna – zmodyfikowana

W tej metodzie materiał z elektrowni będzie transportowany układem obudowanych przenośników do zakładu wytwarzania suspensy zlokalizowanego przy składowisku. Stamtąd, wymieszany materiał z wodą lokowany będzie w przygotowanych kwaterach. Popioły przed zsypaniem na przenośniki będą nawilżane wodą z kondycjonerem w granulatorach. W czasie transportu będzie następowało dodatkowe zraszanie popiołów wodą na wszystkich przesypach. Taka obróbka transportowanego materiału wymusza specyficzne potraktowanie metody formowania prób badawczych dla tej technologii składowania odpadów paleniskowych.

Pierwszym elementem obróbki transportowanego materiału było zraszanie przygotowanej próbki odpadów mieszaniną wody z kondycjonerem (0,03 % objętości wody) w stosunku masowym w:p 0,25 i pozostawienie tak przygotowanego materiału na około 30 minut (średni czas transportu popiołów z elektrowni na zwałowisko wewnętrzne kopalni „Bełchatów” S.A.). Po tym okresie następowało dodanie wody w ilości 30% masy próbki.

Następnie próbka zostawała poddana obróbce mechanicznej trwającej około 3 minuty, po której przyjmowała stan płynny. Tak przygotowaną mieszaninę umieszczono w formach (w kształcie walca o wymiarach 80/80 mm). Sformowane próby do momentu związania umieszczono w szafie klimatycznej lub na świeżym powietrzu, w zależności od rodzaju przeprowadzonych badań.

Metoda hydrauliczna – zmodyfikowanej

W tej metodzie materiał transportowany będzie systemem rurociągów z elektrowni na składowisko. Medium transportującym jest woda. Stosunek masowy wody do popiołu będzie wynosił około 10:1. Po wymieszaniu popiołu z wodą następowało umieszczenie próbki w wstrząsarce laboratoryjnej. Czas wstrząsania wynosił około 15 minut, czyli okres potrzebny do przetransportowania mieszaniny z elektrowni na składowisko przy użyciu instalacji hydrotransportu.

Po tym okresie mieszanina była umieszczona w przygotowanych formach (w kształcie walca o wymiarach 80/80 mm). Sformowane próby do momentu związania umieszczono w szafie klimatycznej lub na świeżym powietrzu, w zależności od rodzaju przeprowadzonych badań.

We wszystkich metodach formowania prób wykorzystywano wodę technologiczną z Elektrowni „Bełchatów” S.A.

7.1 Badania czasu wiązania odpadów paleniskowych

Badaniom zostały poddane dwie metody składowania odpadów paleniskowych:

- ✓ metoda suspensji,
- ✓ metoda mechaniczna – zmodyfikowana.

Określenie czasu wiązania mieszaniny odpadów paleniskowych i wody dla obydwu metod zostało przeprowadzone za pomocą aparatu Vicat'a. Zasadę taką stosuje się w celu określenia początku oraz końca wiązania substancji. Metoda polega na okresowym pomiarze głębokości zanurzenia igły Vicat'a w próbce. Jako początek wiązania przyjmuje się czas od momentu, w którym igła zatrzymuje się w odległości 2-4 mm od podstawy, a koniec wiązania, czas od momentu kiedy igła zatrzymuje się 1-2 mm od powierzchni badanej próbki. Czas wiązania to różnica między końcem a początkiem wiązania.

7.2 Badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

Badaniom zostały poddane próby uzyskane dla trzech wyselekcjonowanych metod deponowania odpadów paleniskowych:

- ✓ metody suspensji,
- ✓ metody mechanicznej – zmodyfikowanej,
- ✓ metody hydraulicznej – zmodyfikowanej.

Pierwszym etapem prac było przygotowanie 6 prób walcowych o wysokości równej średnicy ($d = h$), dla każdej analizowanej technologii składowania odpadów. Do badań wykorzystano próby sezonowane w dwóch środowiskach (po 3 próby): szafie klimatycznej oraz na powietrzu (załącznik nr 5).

Następnie określano wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie związanych prób. Do tego celu wykorzystano prasę hydrauliczną Walter-Bau 100 S o maksymalnym ucisku 100 kN. Przygotowane próbki umieszczono centrycznie między płytami dociskowymi maszyny wytrzymałościowej w taki sposób aby oś podłużna próbki była prostopadła do płaszczyzny płyty. Prędkość obciążania była stała i wynosiła 0,5 MPa/s. Każde badanie

połączone z pomiarem kończyło się z chwilą zniszczenia próbki, a jej wytrzymałość określono ze wzoru:

$$R_c = 10P_{\max}/F_0 \text{ [MPa]} \quad 6.1$$

gdzie:

- R_c – wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, [MPa],
- P_{\max} – maksymalna siła ściskająca, [kN],
- F_0 – przekrój poprzeczny próbki, [cm²]

7.3 Badania wpływu wody zewnętrznej na związane odpady paleniskowe

Badaniom zostały poddane próby uzyskane dla trzech wyselekcjonowanych metod deponowania odpadów paleniskowych:

- metody suspensji,
- metody mechanicznej – zmodyfikowanej,
- metody hydraulicznej – zmodyfikowanej.

Określenie wpływu wody zewnętrznej na związane odpady paleniskowe polegało na wyznaczeniu wytrzymałości próbek na jednoosiowe ściskanie po wcześniejszym ich namaczaniu, a następnie porównanie otrzymanych wartości z wynikami wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie uzyskanymi dla prób suchych.

Po przygotowaniu prób badawczych, zostały one umieszczone w wodzie podziemnej pobranej z rejonu KWB „Bełchatów” S.A., w której zostały pozostawione przez okres 28 dni. Po tym czasie nastąpiło ich zniszczenie w prasie hydraulicznej w celu określenia ich wytrzymałości (załącznik nr 6). Badanie wytrzymałości zostało przeprowadzone w ten sam sposób jak dla prób suchych (punkt 6.2).

7.4 Określenie współczynnika filtracji związanych odpadów paleniskowych

Badaniom zostały poddane próby uzyskane dla trzech wyselekcjonowanych metod deponowania odpadów paleniskowych:

- ✓ metody suspensji,
- ✓ metody mechanicznej – zmodyfikowanej,
- ✓ metody hydraulicznej – zmodyfikowanej.

Współczynnik filtracji jest jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących ośrodki przewodzące wodę. Znajomość tego parametru umożliwia nam dokonywanie obliczeń hydrogeologicznych a także porównanie warstw wodonośnych. Praktyka wykazała, że jest to parametr niezbędny tak w dociekaniach teoretycznych, jak i w badaniach prowadzonych dla celów użytkowych. Istnieją dwie grupy badań określania współczynnika filtracji: badania laboratoryjne oraz badania polowe.

Określenie współczynnika filtracji związanych odpadów odbyło się w warunkach laboratoryjnych przy wykorzystaniu permeametry o zmiennej wysokości hydraulicznej (rys. 7.1).

Istotą badania polegała na przepuszczeniu wody przez związane odpady i pomiarze wydatku oraz straty wysokości hydraulicznej. Permeametr, w którym umieszczono badaną próbkę był szczelnie wypełniony wodą destylowaną celem uniemożliwienia tworzenia się poduszek powietrznych, które mogłyby zniekształcić uzyskane wyniki. Próbkę była umieszczona w rurce PCV, która była uszczelniona silikonem uniemożliwiając przepływ wody między ścianką rurki, a próbką.

W trakcie badania prowadzono pomiar czasu spadku poziomu wody w piezometrze podłączonym do permeametry, w którym miało występować przesączanie się wody w kierunku od dołu do góry tj. od komory cylindra dolnego poprzez próbkę do komory cylindra górnego, z którego woda mogła przelewać się na zewnątrz. Odczyt czasu wykonywano co dwa centymetry na długości 12 centymetrów.

Dla każdej metody określenie współczynnika filtracji zostały wykonane na dwóch próbkach. Uzyskany wynik jest średnią arytmetyczną z wszystkich uzyskanych danych dla próbek wykonanych w określonej metodzie deponowania odpadów paleniskowych (załącznik nr 7).

Obliczenie współczynnika filtracji przeprowadzono w oparciu o następujące wzory [87]:

$$k_n = q_n / F \cdot I_n \cdot t_n \quad 6.2$$

gdzie:

k_n – współczynnik filtracji, [m/s]

q_n – wydatek określony ze wzoru $q_n = (\pi \cdot d^2 \cdot s_n) / 4$, [m³/s] 6.3

s_n – depresja odczytana w czasie t_n , [m]

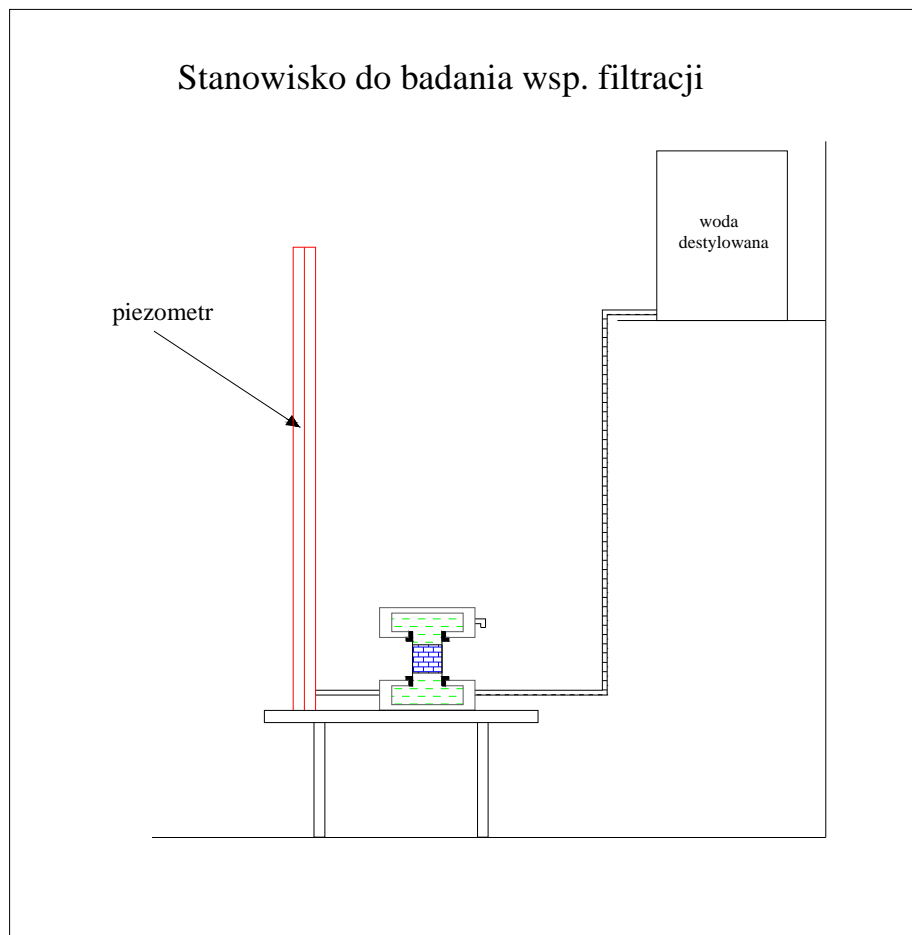
t_n – czas filtracji, [s]

F – powierzchnia przekroju poprzecznego badanej próbki, [m²]

I_n – spadek hydrauliczny w czasie t_n , określany ze wzoru $I_n = (H_0 - s_n) / l$, 6.4

l – droga filtracji wody (wysokość badanej próbki), [m]

H_0 – początkowa wysokość hydrauliczna, [m]



Rys. 7.1 Schemat stanowiska do badania współczynnika filtracji

7.5 Badania odcieków ze związanych odpadów paleniskowych oraz odpadów mieszanych z nadkładem

Analizie zostały poddane cztery wyselekcjonowane metody składowania odpadów paleniskowych:

- ✓ metoda suspensji,
- ✓ metoda mechaniczna – zmodyfikowana,
- ✓ metoda hydrauliczna – zmodyfikowana,
- ✓ metoda mechaniczna.

Wymienione metody opierają się w swojej działalności na infrastrukturze technicznej Elektrowni „Bełchatów” S.A. wykorzystanej do przesyłania odpadów paleniskowych na składowisko „Lubień” oraz zwałowisko wewnętrzne KWB „Bełchatów” S.A. Procedury wykonania prób badawczych dla metod: suspensji, mechanicznej – zmodyfikowanej oraz hydraulicznej-zmodyfikowanej zostały podane na początku rozdziału, natomiast technologie przygotowywania prób dla metody mechanicznej opisano poniżej:

Metoda mechaniczna

W tej metodzie materiał z elektrowni transportowany jest układem obudowanych przenośników na zwałowisko wewnętrzne zlokalizowane w wyrobisku Bełchatów. Tam transportowany materiał mieszany jest z nadkładem i przy użyciu zwałowarek lokowany na zwałowisku. Technologia transportu w tej metodzie jest taka sama jak w metodzie mechanicznej-zmodyfikowanej, dlatego transportowane odpady zostały poddane takiej samej obróbce technicznej. Zmiana następuje po odczekaniu około 30 minut. Wtedy następuje wymieszanie transportowanego materiału z nadkładem. Ta operacja ma modelować mieszanie odpadów z nadkładem na przenośnikach oraz zwałowanie tej mieszaniny na zwałowisku. Poszczególne próby badawcze zostały wykonane w oparciu o następującą procedurę: przygotowywane próby były tej samej wagi, zmieniały się tylko proporcje użytych odpadów i gruntów. Masa próby wynosiła 1,5 kg

dla stosunku masowego 1:3 poszczególne składniki wynosiły odpowiednio: odpady - 0,375 kg, a grunty – 1,125 kg,

dla stosunku masowego 1:10 poszczególne składniki wynosiły odpowiednio: odpady - 0,14 kg, a grunty – 1,36 kg.

Dla potrzeb badania wyselekcjonowano 3 rodzaje gruntów składowanych na zwałowisku wewnętrznym:

- ✓ grunty spoiste reprezentowane przez ility bełchatowskie,
- ✓ grunty sypkie reprezentowane przez piaski,
- ✓ grunty „zwałowe” – czyli mieszaninę glin, piasków i utworów piaszczysto gliniastych.

Wymienione grunty były mieszane z odpadami w 2 proporcjach wagowych. W sumie zostało utworzonych 12 próbek badawczych.

Wszystkie grunty poddane badaniom zostały pobrane ze zwałowiska wewnętrznego KWB „Bełchatów” S.A.

Po sformułowaniu próbek badawczych dla każdej metody zostały przygotowane odcieki. Przy ich wykonywaniu opierano się na metodach opisanych w normach: PN-98-G-11011 oraz PN-93-G-11010, które zostały w pewnych elementach zmodyfikowane. Zmianie uległ czas deponowania materiału badawczego w wodzie zewnętrznej. Normy nakazują umieszczenie próbek na okres 24 godzin, natomiast w opisywanych badaniach czas ten został wydłużony do 14 dni. Celem tego zabiegu było umożliwienie pełnej penetracji wody zewnętrznej w badanych próbach, a przez to możliwość dłuższego ługowania wody destylowanej, w celu uzyskania jak najbardziej wiarygodnych wyników. Następną modyfikacją dotyczyła tylko trzech metod: suspensji, mechanicznej-zmodyfikowanej oraz hydraulicznej-zmodyfikowanej. Dla tych technologii zostały wykonane dodatkowe odcieki, w których próbki poddane badaniom zostały wcześniej zniszczone mechanicznie (próba mająca postać walca o wymiarach 80/80 została rozdrobniona na kilkanaście kawałków). Te badania miały zasymulować sytuację awarii na składowisku, polegającą na naruszeniu monolitycznej struktury odpadów paleniskowych znajdujących się na składowisku i zwiększoną infiltrację wód gruntowych przez ten materiał, co teoretycznie zwiększa możliwość wynoszenia zanieczyszczeń przez infiltrującą wodę.

Do opisanych badań wykorzystano wodę destylowaną, a odcieki zostały wykonane w identyczny sposób dla wszystkich technologii deponowania odpadów.

Ponadto dla trzech metod składowania: suspensji, mechanicznej - zmodyfikowanej oraz hydraulicznej - zmodyfikowanej zostały wykonane dodatkowe odcieki, w których woda destylowana została zamieniona na wodę podziemną pobraną z rejonu północno-zachodniego od studni odwodnieniowych kopalni. Wody te charakteryzują się składem chemicznym najbardziej zbliżonym do jakości tła hydrochemicznego z roku

1981. Dla tych prób został wykonany pełny zakres badań (badania na próbach związanych oraz rozdrobnionych).

Dodatkowe odcieki nie zostały wykonane dla metody mechanicznej, ponieważ w tej technologii nie dochodzi do trwałego związania składowanych odpadów paleniskowych, dlatego nie ma potrzeby wykonania odcieków z rozdrobnionych odpadów deponowanych tą metodą.

Po wykonaniu odcieków dla wszystkich analizowanych metod deponowania odpadów paleniskowych zostały one poddane analizie chemicznej.

Analiza chemiczna odcieków została opracowana przez Laboratorium Badań Chemicznych Wód Instytutu Górnictwa Odkrywkowego „Poltegor-Instytut”. Jest to jednostka specjalizująca się w badaniach chemicznych wód.

Analizy chemiczne badanych próbek zostały wykonane w oparciu o następujące metody:

- odczyn – pH - metoda elektrometryczna wg PN-90/C-04540.01,
- wapń - metoda wersenianowa wg PN-ISO 6058:1999,
- twardość ogólna - metoda wersenianowa wg PN-ISO 6059:1999,
- chlorki - metoda argentometrycznego miareczkowania -

Procedura Badawcza PB 12.17 (w oparciu o PN-75/C-04617.02 i PN-ISO 9297:1994),

- siarczany - metoda wagowa –

Procedura Badawcza PB 12.16 (w oparciu o PN-ISO 9280:2002).

8. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań laboratoryjnych

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań laboratoryjnych.

Badania czasu wiązania odpadów paleniskowych

Badaniom poddano dwie metody deponowania odpadów paleniskowych: suspensji i mechaniczną-zmodyfikowaną. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono czasy wiązań mieszanin odpadów i wody:

- ✓ dla metody suspensji – 73 h,
- ✓ dla metody mechanicznej - zmodyfikowanej – 78 h.

Uzyskane wartości są wystarczająco długie by umożliwić bezpieczne deponowanie odpadów paleniskowych w proponowanych składowiskach (tabela 8.1).

Tabela 8.1 Czasy wiązań mieszaniny odpadów paleniskowych i wody dla różnych metod składowania

Lp	Metoda	Sporządzenie mieszaniny	Początek wiązania	Koniec wiązania	Czas wiązania [h]
1	suspensji	10:02 dzień 1	15:05 dzień 1	16:00 dzień 3	~73
2	mechaniczna- zmodyfikowana	9:46 dzień 1	18:25 dzień 1	22:25 dzień 3	~78

Badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

Badaniom zostały poddane próby uzyskane dla trzech metod deponowania odpadów paleniskowych:

- ✓ metody suspensji,
- ✓ metody mechanicznej - zmodyfikowanej,
- ✓ metody hydraulicznej - zmodyfikowanej.

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych stwierdza się, że najwyższe wytrzymałości posiadają próbki utworzone metodą mechaniczno-zmodyfikowaną i wynoszą one odpowiednio 5,2 MPa dla próbek sezonowanych w sza-

fie klimatycznej oraz 5,7 MPa dla próbek sezonowanych na powietrzu. W przypadku metody suspensji otrzymano następujące wyniki: próbki przechowywane w szafa klimatyczna – 4,4 MPa i próbki przetrzymywane na świeżym powietrzu – 4,1 MPa, a w technologii hydraulicznej – zmodyfikowanej odpowiednio 0,5 MPa i 0,4 MPa.

Różnice w otrzymanych wynikach wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie związanych odpadów paleniskowych związane są zarówno z metodami ich deponowania, jak i miejscem sezonowania. Znacząca różnica uzyskanych wartości występuje między związanymi odpadami składowanymi metodami suspensji i mechaniczną-zmodyfikowaną, a odpadami zdeponowanymi technologią hydrauliczną-zmodyfikowaną (prawie 9 krotność wartości maksymalnych). Przyczyną tak dużych wahań otrzymanych wyników są różnorodne technologie transportu wykorzystywane w analizowanych metodach.

W przypadku technologii mechaniczno-zmodyfikowanej dodanie wody przed rozpoczęciem transportu, a następnie zraszanie, na przesypach przenośników taśmowych, transportowanego materiału, w celu zmniejszenia pylenia w czasie transportu, powodują znaczącą poprawę wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie związanych odpadów paleniskowych. Przedstawione zabiegi powodują zmniejszenie ilości wolnego CaO, który w zbyt dużej ilości ma niekorzystny wpływ na wytrzymałość związanych materiałów. Za ten fakt jest odpowiedzialny proces zmiany objętości pomiędzy wolnym CaO i jego hydratami $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Wcześniejsze dodanie wody powoduje związanie części wolnego CaO, dzięki temu ograniczamy jego nadmiar w deponowanych materiałach.

Opisane zjawisko zachodzi natomiast w przypadku składowania odpadów metodą suspensji. Efektem procesu zmiany objętości pomiędzy wolnym CaO i jego hydratami $\text{Ca}(\text{OH})_2$, w czasie wiązania odpadów, jest obniżenie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie materiałów zdeponowanych tą metodą o około 20% w stosunku do odpadów składowanych metodą mechaniczną-zmodyfikowaną. Pomimo obniżenia wytrzymałości związanych odpadów paleniskowych składowanych metodą suspensji dalsze wykorzystanie tej technologii nie jest zagrożone, ponieważ uzyskane wartości są wystarczająco duże by zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa przy jej stosowaniu.

W przypadku metody hydraulicznej-zmodyfikowanej bardzo duża ilość wody (10-razy więcej niż odpadów) powoduje wypłukanie z odpadów większości związków odpowiedzialnych za proces wiązania. Mimo tego niekorzystnego procesu otrzymane wyniki wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie związanych materiałów są wystarczające by

wykorzystać tę technologię do składowania odpadów paleniskowych w rejonach dostępu wody podziemnej.

Różnice wynikające z miejsca sezonowania (szafa klimatyczna i powietrze) są spowodowane odmiennymi warunkami pielęgnacji deponowanych tam odpadów. W przypadku szafy klimatycznej próbki przetrzymywane są w stałej temperaturze (30°C). Takie warunki powodują szybkie wysychanie próbek, co powoduje zatrzymanie procesu wiązania odpadów. W przypadku sezonowania na powietrzu większa wilgotność otoczenia oraz zmienność temperatur tworzy lepsze warunki wiązania odpadów paleniskowych. Ta zasada dotyczy odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą mechaniczną-zmodyfikowaną.

W przypadku metody suspensji opisane zjawiska powodują odwrotne efekty. Przyczyną tego jest wolny CaO. W szafie klimatycznej szybsze wysuszenie powoduje zaprzestanie procesu przemiany CaO w hydrat Ca(OH)₂, dzięki czemu wytrzymałości tak przechowywanych próbek są większe niż tych utrzymywanych na świeżym powietrzu, gdzie powolniejsze wysychanie próbki umożliwia dłuższe działanie procesu hydratacji CaO w Ca(OH)₂, co wyraża się obniżeniem wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie materiałów umieszczonych na powietrzu w stosunku do odpadów sezonowanych w szafie klimatycznej. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 8.2.

Tabela 8.2 Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie związanych odpadów paleniskowych uzyskanych metodami: suspensji, mechaniczna-zmodyfikowaną oraz hydrauliczną-zmodyfikowaną

Lp	Metoda	Czas wiązania prób [dni]	Wytrzymałość * [MPa]	
			szafa klimatyczna	powietrze
1	suspensji	28	4,4	4,1
2	mechaniczna-zmodyfikowana	28	5,2	5,7
3	hydrauliczna-zmodyfikowana	28	0,5	0,4

* wartości średnie

Badania wpływu wody zewnętrznej na związane odpady paleniskowe

Wpływ wody zewnętrznej na wytrzymałości jednoosiowe związanych odpadów paleniskowych na podstawie otrzymanych wyników można określić jako minimalny, tabela

8.3, w której umieszczono wyniki wytrzymałości próbek po sezonowaniu w wodzie, oraz przyrost wytrzymałości (Δ) określoną jako różnicę wytrzymałości na jednoosiowe ścisnienie i wytrzymałości uzyskanych po sezonowaniu prób w wodzie zewnętrznej, które wynoszą:

- ✓ metoda mechaniczna - zmodyfikowana – 5,3 Mpa,
- ✓ metoda suspensji – 4,3 Mpa,
- ✓ metoda hydrauliczna - zmodyfikowana – 0,4 Mpa.

Różnica wartości wytrzymałości na jednoosiowe ścisnienie dla prób sezonowanych w wodzie i prób suchych wynosi poniżej 10% wartości maksymalnej. Opisane wyniki świadczą o wysokim stopniu związania materiałów paleniskowych zdeponowanych analizowanymi metodami. Proces łączenia odpadów paleniskowych przy udziale wody powoduje utworzenie materiałów o wysokim stopniu konsolidacji, wyrażającej się brakiem zagrożeń związanych z osłabieniem wytrzymałości związanych odpadów ze strony infiltrującej wody gruntowej.

Uzyskane dane pozwalają sformułować następujący wniosek: ulokowanie związanych odpadów paleniskowych w środowisku wodnym nie powoduje obniżenia ich wytrzymałości jednoosiowej, a co jest z tym związane, nie ma żadnych przeciwwskazań, pod względem wytrzymałościowym, na przetrzymywanie tak spreparowanych odpadów w składowiskach, których lokalizacja znajduje się w zasięgu wód podziemnych.

Tabela 8.3 Wytrzymałość na jednoosiowe ścisnienie związanych odpadów paleniskowych uzyskanych metodami: suspensji, mechaniczna-zmodyfikowaną i hydrauliczną – zmodyfikowana po sezonowaniu w wodzie zewnętrznej

Lp	Metoda	Czas przetrzymywania związanych prób w wodzie [dni]	Wytrzymałość * [MPa]	Δ [MPa]
1	suspensji	28	4,3	- 0,2
2	mechaniczna-zmodyfikowana	28	5,3	+ 0,4
3	hydrauliczna-zmodyfikowana	28	0,4	0

* wartości średnie

Określenie współczynnika filtracji związanych odpadów paleniskowych

Badaniom poddano próbki sformowane trzema wyselekcjonowanymi metodami deponowania odpadów paleniskowych (hydrauliczna-zmodyfikowana, suspensji i mechaniczna-zmodyfikowana). Uzyskane wartości współczynnika filtracji badanych mate-

riałów zostały przedstawione w tabeli 8.4. W oparciu o klasyfikacje utworzoną przez Z. Pazdro charakteryzującą grunty i skały przy wykorzystaniu ich wodoprzepuszczalności można zaklasyfikować związane odpady paleniskowe (dla wszystkich metod deponowania) do grupy utworów nieprzepuszczalnych [87].

Uzyskane dane pozwalają sformułować następujący wniosek: zdeponowanie odpadów paleniskowych w postaci związanej powoduje gwałtowne obniżenie współczynnika filtracji z $0,2 \cdot 10^{-6}$ na $6,23 \cdot 10^{-8} - 5,49 \cdot 10^{-9}$ w zależności od wykorzystanej metody składowania. Wyższy współczynnik filtracji luźnych odpadów tworzy lepsze warunki dla procesów rozpuszczania i ługowania minerałów w nich zawartych. Chemizm przepływającej wody zależy od składu najłatwiej rozpuszczalnych w danych warunkach minerałów. Minerałami odpadów paleniskowych najłatwiej podlegającymi rozpuszczeniu i ługowaniu są: halit, gips i anhydryt. Procesy rozpuszczania powyższych minerałów dostarczają do wód podziemnych znacznych ilości jonów: Cl^- , SO_4^{2-} oraz Ca^{2+} . Obniżenie właściwości filtracyjnych odpadów związanych wiąże się ze znacznym obniżeniem prędkości infiltrującej wody. Infiltrująca woda w tych materiałach ma charakter wód szczelinowych o bardzo ograniczonej możliwości współdziałania ze środowiskiem infiltrowanym. Rozkład minerałów zawartych w odpadach jest w tym przypadku znacznie ograniczony, co wyraża się mniejszą ilością przedostających się jonów do wód zewnętrznych z ługowanych materiałów.

Tabela 8.4 Współczynnik filtracji związanych odpadów paleniskowych uzyskanych metodami: hydrauliczną, suspensji oraz mechaniczną-zmodyfikowaną

Lp	Metoda	Współczynnik filtracji * [m/s]
1	suspensji	$5,49 \cdot 10^{-9}$
2	mechaniczna-zmodyfikowana	$4,78 \cdot 10^{-9}$
3	hydrauliczna – zmodyfikowana	$6,23 \cdot 10^{-8}$

* wartości średnie

Badania odcieków ze związanych odpadów paleniskowych oraz odpadów mieszanych z nadkładem

Wyniki uzyskane dla tych badań zostały przedstawione i omówione w rozdziale X pt. „Prognoza zanieczyszczeń emitowanych z projektowanego składowiska do wód podziemnych dla różnych technologii deponowania odpadów”

9. Określenie zanieczyszczeń emitowanych ze składowiska Bagno-Lubień do wód podziemnych

Wykorzystanie węgla brunatnego do wytwarzania energii elektrycznej nieodzwrotnie połączone jest z produkcją dużej ilości odpadów powstałych w wyniku spalania technologicznego użytej kopaliny. Powstałe odpady, w większości (małe ilości tych materiałów wykorzystywane są gospodarczo), deponowane są na składowiskach. W przypadku Elektrowni „Bełchatów” S.A. część uzyskiwanych odpadów paleniskowych deponowana jest metodą hydrauliczną na składowisku Bagno-Lubień.

Lokalny monitoring środowiska wodnego składowiska Bagno-Lubień składa się z 8 punktów pomiarowych dla wód powierzchniowych, 28 piezometrów i 12 studni odwodnieniowych, opróbowywanych z częstotliwością raz na kwartał. Analizy fizykochemiczne próbek wody wykonywane są według metod opisanych w Polskich Normach oraz Zbiorze metod analitycznych opracowanych dla spektrofotometru HACH DR 4000 i DR 2000 przez ENERGOPOMIAR [95].

Składowanie odpadów paleniskowych na tym składowisku jest przyczyną infiltracji wody nadosadowej znajdującej się w zbiornikach do podłoża, powodując zanieczyszczenie wód czwartorzędowego piętra wodonośnego. Niekorzystne zmiany środowiska wodnego są wynikiem ługowania z transportowanych i składowanych odpadów głównie: siarczanów, chlorków i wapnia oraz w mniejszym stopniu pierwiastków śladowych. Proces ten prowadzi do wzrostu mineralizacji ogólnej, stężeń jonów, twardości oraz odczynu pH w środowisku wodnym (załącznik nr 8).

Wielkość oddziaływania składowiska „Lubień” na środowisko wodne zależy przede wszystkim od własności odpadów, ilości i jakości wód infiltrujących, zróżnicowania układu utworów wodonośnych i izolujących w podłożu składowiska oraz stanu leja depresji powstałego w wyniku odwodnienia odkrywki KWB Bełchatów. W celu określenia wielkości zanieczyszczeń przedostających się z rejonu składowiska do wód gruntowych utworzono lokalny monitoring środowiska wodnego.

W celu zobrazowania poziomu zanieczyszczeń emitowanego ze składowiska do wód podziemnych przedstawiono wyniki analiz tych wód pobranych z rejonu składowiska w roku 2002. W badanym okresie zdeponowano 831 tyś. ton odpadów na składowisku „Lubień”. Analiza badanych wód czwartorzędowego piętra wodonośnego znajdującego się w bezpośrednim otoczeniu składowiska polegała na przedstawieniu jej składu che-

micznego i odniesienie tych wartości do tła hydrochemicznego z 1981 roku. Ponadto przedstawiono skład chemiczny wód uzyskanych z bariery studni odwodnieniowych N, biegnącej wzdłuż północnej granicy złoża węgla i krawędzi odkrywki, oddalonej o około 400 m od składowiska. Studnie tej bariery ujmują głównie wody z piętra czwartorzędowego (poziomu wglębnego) spływające z terenu zajętego przez składowisko.

Wody podziemne piętra wodonośnego czwartorzędu

Jakość wód podziemnych piętra wodonośnego czwartorzędu w otoczeniu składowiska odpadów paleniskowych „Lubień” określa się na podstawie analizy fizyko-chemicznych próbek wód pobranych z piezometrów kontrolnych pozwalających na prowadzenie obserwacji zarówno płytkich jak i głębszych partii piętra, zlokalizowanych na różnych kierunkach w stosunku do kierunku spływu wód podziemnych.

Najbardziej narażone na wpływ odcieków infiltrujących ze składowiska są wody o kierunkach spływu na wschód i południowy-wschód od składowiska. Sytuacja ta jest spowodowana rozwojem regionalnego leja depresji w wyniku odwadniania złoża KWB Bełchatów i rozbudowy odkrywki w kierunku zachodnim, a co jest z tym związane, przepływem wód podziemnych od strefy zasilania odciekami – **składowisko „Lubień”** - do strefy drenażu - **bariera studni**. Badania zostały wykonane dla dwóch lokalizacji piezometrów:

Dla płytkich wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego.

Dla wód podziemnych wglębnych czwartorzędowego piętra wodonośnego.

Analiza jakości płytkich wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego

Próbki te pobierane są z niewielkich głębokości, około 2 - 3 m p.p.t., a więc z górnych partii warstwy wodonośnej – poziom płytkich wód podziemnych, najbardziej narażony na zanieczyszczenia przenikające ze składowiska.

Analizy wykazały, że są to wody w których:

- ✓ odczyn pH zmienia się w granicach od 6,51 do 11,36,
- ✓ ogólna zawartość substancji rozpuszczonych zmienia się w zakresie od 613,00 do 965,00 mg/dm³,
- ✓ twardość ogólna zmienia się w granicach od 349,00 mg/dm³ (6,98 mval/dm³) do 510,00 mg/dm³ (10,2 mval/dm³) – wody od twardych do bardzo twardych.

Największy udział w mineralizacji wody mają jony o zawartości:

- ✓ SO₄⁻² (210,00 – 423,00 mg/dm³),
- ✓ Cl⁻¹ (128,36 – 156,23 mg/dm³),

- ✓ Ca^{+2} (138,67 – 200,00 mg/dm³).

Zgodnie z z Klasyfikacją Jakości Zwykłych Wód Podziemnych wody te zalicza się głównie do wód niskiej jakości (klasa III). Wody pozaklasowe stwierdzono tylko okresowo w wybranych piezometrach.

Analiza jakość wód podziemnych w głębszych czwartorzędowego piętra wodonośnego

Wody te są pod wpływem odcieków infiltrujących ze składowiska i zasilających poziom wodonośny bezpośrednio lub pośrednio przez poziom płytkich wód podziemnych.

Analizy wykazały, że są to wody w których:

- ✓ odczyn (pH) zmienia się w granicach od 6,56 do 7,67,
- ✓ ogólna zawartość substancji rozpuszczonych zmienia się w zakresie od 433,00 do 663,00 mg/dm³,
- ✓ twardość ogólna zmienia się w granicach od 266,00 mg/dm³ (5,32 mval/dm³) do 418,00 mg/dm³ (8,36 mval/dm³) – wody średnio twarde i twarde.

Największy udział w mineralizacji wody mają jony o zawartości:

- ✓ SO_4^{-2} (124,00 – 297,00 mg/dm³),
- ✓ Cl^{-1} (75,85 – 109,03 mg/dm³),
- ✓ Ca^{+2} (76,40 – 140,20 mg/dm³).

Zgodnie z Klasyfikacją Jakości Zwykłych Wód Podziemnych wody na kierunku spływu z terenu składowiska do studni odwodnieniowych KWB Bełchatów zalicza się głównie do wód średniej jakości (klasa II). Wody niskiej jakości (klasa III) oraz pozaklasowe stwierdzono tylko okresowo w jednym piezometrze ze względu na wysokie stężenia azotu azotynowego.

Wody podziemne z systemu odwodnienia złoża węgla brunatnego

Wyniki analiz wskazują, że ogólna zawartość substancji rozpuszczonych zmienia się w zakresie: od 513,00 do 741,00 mg/dm³. Analiza wyników badań i obserwacji prowadzonych na przestrzeni lat 1991-2002 wskazuje, że w studniach odwodnieniowych stwierdza się tendencje wzrostu mineralizacji i zawartości głównych jonów o wielkość rzędu 10 – 50 %. Spowodowane jest to wzrostem stężeń: wodorowęglanów (129,32 – 326,46 mg/dm³), wapnia (94,79 – 140,89 mg/dm³), siarczanów (190,00 – 254,00 mg/dm³), chlorków (65,12 – 116,38 mg/dm³). Analiza warunków hydrogeologicznych terenu wskazuje, że wzrost ten może być spowodowany:

- ✓ zmianami fizyko-chemicznymi w obrębie odwodnionej warstwy gruntów w strefie aeracji, która wytworzyła się w obrębie leja depresji,
- ✓ intensywnym dopływem wód o podwyższonej mineralizacji z terenu składowiska odpadów paleniskowych,
- ✓ zwiększonym dopływem wód podziemnych z pięter trzeciorzędowego i mezozoicznych, które generalnie charakteryzują się wyższą mineralizacją niż wody piętra czwartorzędowego występujące w rejonie składowiska poza wyznaczoną strefą wpływu.

Przedstawione wyniki badań jakości wód wykazują, że wody podziemne ze studni odwodnieniowych charakteryzują się stosunkowo dobrą jakością i zgodnie z Klasyfikacją Jakości Zwykłych Wód Podziemnych dla potrzeb monitoringu zalicza się je głównie do wód średniej jakości (klasa II) oraz rzadziej wód wysokiej jakości (klasa Ib). Stwierdzono również okresowe występowanie wód niskiej jakości (klasa III) ze względu na podwyższone stężenia azotu azotynowego.

Wody w obiegu hydrotransportu

Do badań pobrano próbki wody nadosadowej w punkcie zrzutu pulpy oraz ze zbiorników wyrównawczych.

Analizy wykazały, że były to wody w których:

- ✓ odczyn (pH) zmieniał się w granicach od 10,67 do 12,10,
- ✓ ogólna zawartość substancji rozpuszczonych zmieniała się w zakresie od 851 do 1318 mg/dm³,
- ✓ twardość ogólna zmieniała się w granicach od 642 mg/dm³ (12,84 mval/dm³) do 908 mg/dm³ (18,16 mval/dm³).

Największy udział w mineralizacji wody miały jony o zawartości:

- ✓ SO₄⁻² (308 – 557 mg/dm³),
- ✓ Cl⁻¹ (128 – 258 mg/dm³),
- ✓ Ca⁺² (225 – 348 mg/dm³).

Porównanie wyników badań jakości wody w obiegu hydrotransportu z rozporządzeniem M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r. - „Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi” wskazuje, że substancje powodujące mineralizację wody nadosadowej zalicza się do: grupy A – podstawowych (odczyn, zawiesina ogólna),

grupy C – nieorganicznych (twardość ogólna, chlorki, siarczany, substancje rozpuszczone).

Ekstrakty wodne odpadów paleniskowych

Do badań wykorzystano odcieki uzyskane z odpadów paleniskowych po wypłukaniu ich wodą destylowaną w stosunku wagowym 1:10.

Analizy wykazały, że były to wody w których:

- ✓ średnia wartość odczynu (pH) wynosiła 12,

Największy udział w mineralizacji wody miały jony (wartości średnie) o zawartości:

- ✓ SO_4^{-2} (620 mg/dm³),
- ✓ Cl^{-1} (8,6 mg/dm³),
- ✓ Ca^{+2} (968 mg/dm³).

Porównanie wyników badań jakości ekstraktów wodnych odpadów paleniskowych z rozporządzeniem M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r. - „Najwyższe dopuszczalne wartości wskaźników zanieczyszczeń w ściekach wprowadzanych do wód lub do ziemi” wskazuje, że substancje powodujące mineralizację odcieków zaliczają się do:
grupy A – podstawowych,
grupy C – nieorganicznych.

Tło hydrochemiczne wód podziemnych z 1981 roku

Tło hydrochemiczne wód podziemnych zostało określone w 1981 roku przed rozpoczęciem eksploatacji składowiska „Lubień”.

Analizy wykazały, że były to wody w których:

- ✓ odczyn (pH) zmieniał się w granicach od 6,0 do 7,3,
- ✓ ogólna zawartość substancji rozpuszczonych zmieniała się w zakresie od 80,0 do 218,0 mg/dm³,
- ✓ twardość ogólna zmieniała się w granicach od 37,5 mg/dm³ (0,75 mval/dm³) do 146,0 mg/dm³ (2,92 mval/dm³).

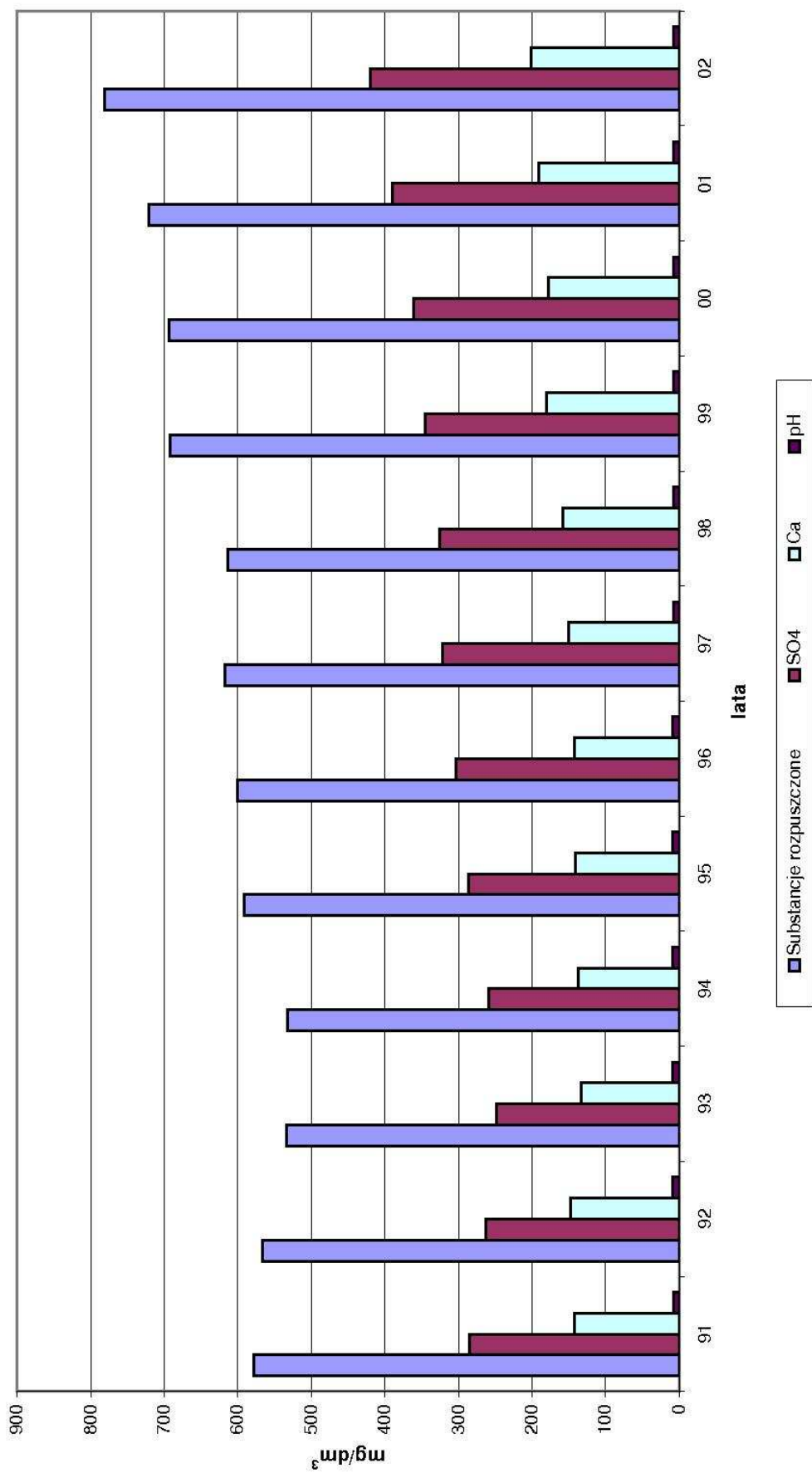
Udział w mineralizacji wody analizowanych jonów był następujący:

- ✓ SO_4^{-2} (14,50 – 79,00 mg/dm³),
- ✓ Cl^{-1} (9,0 – 15,0 mg/dm³),
- ✓ Ca^{+2} (8,0 – 36,8 mg/dm³).

Zgodnie z Klasyfikacją Jakości Zwykłych Wód Podziemnych wody określone w tle hydrochemiczny zostały zaliczone głównie do wód wysokiej jakości (klasa Ia) [90].

Analiza danych wskazuje, że na chemizm wód podziemnych czwartorzędowych na terenach położonych na kierunku spływu wód z terenu składowiska do studni odwodnieniowych KWB Bełchatów systematyczny wpływ wywierają odcieki infiltrujące ze składowiska.

W stosunku do jakości tła z 1981 roku obserwuje się znaczne pogorszenie jakości wody podziemnych. Przed rozpoczęciem eksploatacji składowiska „Lubień” wody podziemne w tym rejonie były klasyfikowane głównie do pierwszej klasy czystości, natomiast w czasie działania składowiska nastąpił kilkakrotny wzrost ogólnej mineralizacji wód i znaczące pogorszenie jej jakości (rys. 8.1). Szczególnie widoczne to jest w płytkich wodach podziemnych, które kwalifikuje się do wód niskiej jakości (klasa III). Wraz z zwiększeniem odległości oraz głębokości niekorzystny wpływ odcieków ze składowiska ulega zmniejszeniu. Potwierdzeniem tego założenia są analizy jakości wód podziemnych wgłębnych czwartorzędowego piętra wodonośnego oraz jakość wód podziemnych z systemu odwodnienia złoża węgla brunatnego, które klasyfikują te wody do średniej jakości (klasa II). Uzyskane wyniki badań rejonu „Bagno-Lubień” sugerują podjęcie działań dla zastosowania metod składowania bardziej przyjaznych dla środowiska.



Rys. 9.1 Zmiany mineralizacji płytkich wód podziemnych w rejonie składowiska Bagno – Lubień (dane średnioroczne El. Belchatów)

10. Prognoza zanieczyszczeń emitowanych do wód podziemnych dla różnych technologii deponowania odpadów

Lokalizacja składowisk odpadów paleniskowych na poziomach zwałowiska wewnętrznego oraz w wyrobisku kopalni odkrywkowej, której przypisano wodną metodę rekultywacji, powoduje umieszczenie ich w zasięgu wód podziemnych. Zdeponowanie odpadów przemysłowych, jakimi są popioły i żużle uzyskiwane ze spalania węgla brunatnego, w takim środowisku może spowodować zwiększenie stężeń związków chemicznych ługowanych z tych materiałów przez wody podziemne. Taka sytuacja wiąże się z koniecznością wykonania dogłębnych analiz emisji związków chemicznych ze składowanych materiałów do wód zewnętrznych. Z tą tematyką związane jest wiele opracowań wykonanych przez polskie ośrodki naukowe. Zagadnieniami tymi zajmowali się między innymi: A. Szczepański, J. Szczepańska, A. Postawa – AGH Kraków [80], M.J. Łączny – Instytut Ochrony Środowiska Oddział Katowice [37], H. Matusiewicz, K. Janowicz – Politechnika Poznańska [45], J.J. Hycnar – Państwowa Agencja Węgla Kamiennego Katowice [21], E. Michniewicz – Poltegor Instytut [9], Z. Giergiczny – Instytut Mineralnych Materiałów Budowlanych Opole [9]. W oparciu o dane uzyskane z prac wymienionych autorów określono związki wypłukiwane ze zdeponowanych odpadów paleniskowych. Analiza tych danych pozwoliła określić związki odpowiedzialne za mineralizacji wód zewnętrznych, należą do nich jony: Ca^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , natomiast największe zagrożenie dla środowiska wodnego stanowią siarczany i chlorki.

Różnorodność technologiczna analizowanych metod składowania odpadów paleniskowych spowodowała podział ich badań laboratoryjnych na dwie grupy:

Grupa 1 – dotyczy metod deponowania odpadów w specjalnie przygotowanych składowiskach, należą do nich metody: suspensji, mechaniczna-zmodyfikowana i hydrauliczna-zmodyfikowana.

Grupa 2 – dotyczy metod deponowania odpadów „poza wydzielonym składowiskiem”, należy do niej metoda mechaniczna.

Wykonane badania laboratoryjne miały za cel dostarczenie informacji o ilości związków chemicznych ługowanych z proponowanych składowisk przez wody podziemne oraz porównanie uzyskanych wartości z obowiązującymi normami.

Badania metod suspensji, mechanicznej-zmodyfikowanej i hydraulicznej-zmodyfikowanej (grupa 1)

W tej grupie analizie poddano trzy metody składowania odpadów paleniskowych: suspensji, mechaniczna-zmodyfikowaną i hydrauliczną-zmodyfikowaną. Cechami charakterystycznymi tych technologii jest składowanie odpadów w specjalnie przygotowanych parcelach oraz związanie zdeponowanego materiału na składowisku, który tworzy jednorodną, monolityczną strukturę.

Wykonane badania przeprowadzono przy założeniu swobodnego kontaktu zdeponowanego materiału z wodami podziemnymi, czyli w analizowanym składowisku nie zastosowano żadnych naturalnych oraz sztucznych materiałów izolacyjnych. Badania zostały tak dobrane by odzwierciedlać prawidłowe funkcjonowanie składowiska (zdeponowany materiał tworzy jednorodną, związaną strukturę) oraz zasymulować przypadek awarii na składowisku polegający na naruszeniu monolitycznej struktury odpadów paleniskowych i zwiększoną infiltrację wód podziemnych przez ten materiał, co teoretycznie zwiększa możliwość wynoszenia zanieczyszczeń przez wodę zewnętrzną. Dodatkowo wykonano badania, w których jako medium infiltrujące wykorzystano wodę podziemną. Ten zabieg pozwala zasymulować oddziaływania dynamiczne zachodzące między związanym, zdeponowanym materiałem, a infiltrującą przez niego wodą oraz porównać otrzymane wyniki z wartościami uzyskanymi z monitoringu składowiska „Lubień”.

Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tabelach 10.1 - 10.2, są to wielkości średnie z trzech wykonanych prób.

Tabela nr 10.1a Zestawienie uśrednionych wyników badań ekstraktów wodnych z analizowanych metod, wykonanych przy użyciu wody destylowanej dla prób badawczych związanych

Metoda składowania	pH	Twardość ogólna	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
	-	mgCaCO ₃ /dm ³ (mval/dm ³)	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
suspensji	11,8	246 (4,92)	97	1,8	8,8
mechaniczna-zmodyfikowana	11,5	146 (2,92)	58	0,9	9,7
hydrauliczna-zmodyfikowana	12,1	428 (8,56)	163	0,35	8,2

Tabela nr 10.1b Zestawienie uśrednionych wyników badań ekstraktów wodnych z analizowanych metod, wykonanych przy użyciu wody destylowanej dla prób badawczych rozdrobnionych

Metoda składowania	pH	Twardość ogólna	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
	-	mgCaCO ₃ /dm ³ (mval/dm ³)	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
suspensji	12,4	486 (9,72)	199	4,3	12,8
mechaniczna-zmodyfikowana	11,8	233 (4,66)	88	3,2	15,5
hydrauliczna-zmodyfikowana	11,7	496 (9,92)	174	0,35	13,4

Tabela nr 10.2a Zestawienie uśrednionych wyników badań ekstraktów wodnych z analizowanych metod, wykonanych przy użyciu wody podziemnej dla prób badawczych związanych

Metoda składowania	pH	Twardość ogólna	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
	-	mgCaCO ₃ /dm ³ (mval/dm ³)	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
suspensji	8,7	312 (6,24)	122	49	68
mechaniczna-zmodyfikowana	7,9	163 (3,26)	62	56	103
hydrauliczna-zmodyfikowana	8,2	252 (5,04)	95	53	87

Tabela nr 10.2b Zestawienie uśrednionych wyników badań ekstraktów wodnych z analizowanych metod, wykonanych przy użyciu wody podziemnej dla prób badawczych rozdrobnionych

Metoda składowania	pH	Twardość ogólna	Ca ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
	-	mgCaCO ₃ /dm ³ (mval/dm ³)	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
suspensji	8,9	420 (8,4)	164	36	57
mechaniczna-zmodyfikowana	8,9	417 (8,34)	165	34	57
hydrauliczna-zmodyfikowana	8,7	153 (3,06)	61	38	55

W tabeli 10.4, w celu odniesienia uzyskanych wyników od obowiązujących norm umieszczono klasyfikacje jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.

Badania metody mechanicznej (grupa 2)

Do tej grupy przydzielono odpady deponowane metodą mechaniczną. Ich transport odbywa się przy wykorzystaniu systemu obudowanych przenośników taśmowych. Materiał przesyłany jest do wyrobiska i deponowane na zwałowisku wewnętrznym po wcześniejszym wymieszaniu z nadkładem. W przypadku omawianej metody składowany materiał nie jest zabezpieczony przed kontaktem z wodą zewnętrzną. Obecnie w wykorzystywanej metodzie stosuje się proporcję odpad : nadkład - maksymalnie 1:10. W przeprowadzonych badaniach zastosowano dwa różne stosunki masowe odpadów z nadkładem: 1:3 i 1:10. Dodatkowo dla każdej analizowanej proporcji mieszano odpady z trzema rodzajami gruntów: piaskiem, łąkami oraz gruntami „zwałowymi” reprezentowanymi przez mieszaninę gruntów gliniastych, piaszczysto-gliniastych i piaszczystych. Zastosowanie takich procedur badawczych pozwala określić najbezpieczniejsze proporcje mieszanin odpadów i gruntów zwałowych oraz wskazać rodzaj gruntów, który po wymieszaniu z odpadami w największym stopniu ogranicza emisję analizowanych związków chemicznych do wód podziemnych. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w tabeli 10.3, są to wielkości średnie z trzech wykonanych prób.

Tabela nr 10.3 Zestawienie uśrednionych wyników badań ekstraktów wodnych z metody mechanicznej, wykonanych przy użyciu wody destylowanej

Rodzaj gruntu	stosunek grunty:odpady	pH	Twardość ogólna	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
		-	mgCaCO ₃ /dm ³ (mval/dm ³)	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
łąki	3:1	11,8	399 (7,98)	218	1,4	287
łąki	10:1	10,4	303 (6,06)	162	3,2	185
piaski	3:1	12,3	672 (13,4)	272	1,4	263
piaski	10:1	12,3	741 (14,8)	250	1,4	209
„zwałowe”	3:1	12,1	756 (15,1)	288	3,2	328
„zwałowe”	10:1	7,9	547 (10,9)	202	1,4	455

W tabeli 10.4, w celu odniesienia uzyskanych wyników od obowiązujących norm umieszczono klasyfikacje jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r. razem z uzyskanymi wynikami oraz badaniami odpadów luźnych, tłem hydrologicznym z 1981 roku i monitoringiem składowiska Bagno – Lubień.

Tabela 10.4 Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu na podstawie wskaźników chemicznych (podano maksymalne dopuszczalne stężenia lub zakresy analizowanych wskaźników dla poszczególnych klas jakości wód), wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.

L.p.	Analizowany wskaźnik	Miano	Klasy jakości wód podziemnych			
			Ia - najwyższej jakości	Ib - wysokiej jakości	II - średniej jakości	III – niskiej jakości
1	Twardość ogólna	mg CaCO ₃ /dm ³	150 do 300	100 do 150 300 do 500	50 do 100 500 do 750	pon. 50 pow. 750
2	Chlorki *	mg Cl/dm ³	60	200	300	600
3	Siarczany	mg SO ₄ ⁻² /dm ³	60	200	250	500
4	Wapń *	mg Ca/dm ³	20 do 100	200	400	500

* - oznaczono wskaźniki podstawowe

Wnioski z badań laboratoryjnych

Przedstawione wyniki stanowiły podstawę do opracowania prognozy wielkości zanieczyszczeń jakie mogą przedostać się z proponowanych składowisk do wód podziemnych.

W większości przypadków badany odczyn jest wysoki i można określić go jako silnie zasadowy. O zwiększeniu pH decyduje przede wszystkim ilość wapnia przedostająca się z odpadów do wód zewnętrznych. Odcieki z odpadów muszą mieć tak wysokie pH, ponieważ tylko w warunkach silnie alkalicznych może dojść do związania tych osadów (jest to jeden z warunków które muszą być spełnione by doszło do związania odpadów – pozostałe to odpowiedni moduł hydrauliczny i odpowiednia ilość wolnego wapnia w materiale), ponadto wielkość wód o wysokim pH przedostających się do wód podziemnych ze związanych odpadów jest bardzo ograniczona, co uwidacznia się w badaniach wykorzystujących wodę podziemną. Dzięki temu, że ze związanych odpadów infiltruje mała ilość wód o silnie alkalicznym charakterze wody podziemne są w stanie je związać, przy czym proces ten nie powoduje wyraźnego zwiększenia ich zasadowości. Badany odczyn tych wód odpowiada, wg klasyfikacji wód podziemnych, I klasie czystości wód.

Metody suspensji, mechaniczna-zmodyfikowana i hydrauliczna-zmodyfikowanej (grupa 1)

Otrzymane wyniki badań stężeń związków (Ca^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2}) wyniesionych przez wodę destylowaną dla próbek nienaruszonych, wg klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu (tabela 9.4), **zawierają się w przedziale odpowiadającym wodzie wysokiej jakości wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.** W oparciu o uzyskane wyniki nie można jednoznacznie stwierdzić, która z analizowanych metod jest najbezpieczniejsza. Maksymalne wartości badanych związków chemicznych łągowanych ze związanych odpadów rozkładają się na wszystkie rozpatrywane metody transportu, to znaczy:

- ✓ największa ilość wapnia została wyniesiona przez wodę destylowaną w metodzie hydraulicznej-zmodyfikowanej (163 mg/dm^3),
- ✓ największa ilość chlorków została wyniesiona przez wodę destylowaną w metodzie suspensji ($1,8 \text{ mg/dm}^3$),

- ✓ największa ilość siarczanów została wyniesiona przez wodę destylowaną w metodzie mechanicznej – zmodyfikowanej ($9,7 \text{ mg/dm}^3$), przy czym wody o takiej zawartości analizowanych związków, nie stanowią zagrożenia dla środowiska wodnego.

Dla prób badawczych rozdrobnionych następuje zwiększenie ilości wyniesionych związków, lecz nadal ich wartość klasyfikuje je w przedziale wód wysokiej jakości. Dlatego również i w tym przypadku trudno mówić o szkodliwym oddziaływaniu zdeponowanych odpadów paleniskowych na środowisko wodne. Dla wartości maksymalnych, analizowanych związków chemicznych estymowanych ze związanych odpadów paleniskowych, w odniesieniu do badań na próbach związanych, następuje jedna zmiana. Największa ilość wapnia została wyniesiona przez wodę destylowaną w metodzie suspensji (199 mg/dm^3), a nie jak w poprzednim przypadku metodzie hydraulicznej-zmodyfikowanej. W przypadku chlorków i siarczanów wartości maksymalne zostały odnotowane odpowiednio w metodzie suspensji – $4,3 \text{ mg/dm}^3$ oraz w metodzie mechanicznej – zmodyfikowanej $15,5 \text{ mg/dm}^3$. Zwiększenie ilości wypłukiwanych związków dla prób rozdrobnionych, potwierdziło założenie, że większa infiltracja wód podziemnych przez badany materiał zwiększa ilość zanieczyszczeń infiltrujących do środowiska wodnego. Dla poszczególnych metod zmiany te są różnorodne. To zjawisko spowodowane jest odmiennymi warunkami i zasadami składowania rozpatrywanego materiału w analizowanych metodach.

Specyfika metod suspensji i mechanicznej-zmodyfikowanej pozwala na wykorzystanie małej ilości wody do zdeponowania i związania odpadów paleniskowych. Taka sytuacja powoduje „uwięzienie” części ładunku Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} w monolitycznej strukturze związanych odpadów, a tym samym powoduje brak możliwości ich całkowitego wypłukania przez wodę zewnętrzną. Naruszenie jednolitej struktury poprzez rozdrobnienie związanych odpadów umożliwia dalsze ługowanie odpadów przez wody zewnętrzne, czego efektem jest wynoszenie dodatkowej „porcji” zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Ilość analizowanych związków chemicznych przedostających się do wód zewnętrznych dla prób rozdrobnionych jest około dwukrotnie większa niż w przypadku prób związanych. Należy zauważyć, że wypłukiwany ładunek Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} ze związanych odpadów paleniskowych zdeponowanych metodami suspensji i mechanicznej – zmodyfikowanej jest tak niski, że nawet jego dwukrotne zwiększenie **powoduje niskie oddziaływanie na środowisko wodne zgodnie z klasyfikacją zawartą w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.**

Składowane odpadów paleniskowych metodą hydrauliczną-zmodyfikowana polega na transporcie mieszaniny odpadów i wody o stosunku wagowym 1:10, systemem rurociągów z elektrowni na składowisko. Taka technologia składowania wyjaśnia różnice uzyskane w wynikach badań składu chemicznego odcieków wykonanych z prób badawczych związanych i rozdrobnionych utworzonych tą metoda od wyników otrzymanych dla pozostałych metod badanych w tej grupie. Otóż, w tym przypadku nie odnotowujemy dużej różnicy w ilości wyniesionego ładunek Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} z badanych prób związanych i rozdrobnionych. Iloraz wartości uzyskanych dla prób związanych do prób rozdrobnionych wynosi około 1,1. Technologicznie wykorzystanie dużej ilości wody w metodzie hydraulicznej (na jedną jednostkę popiołu przypada dziesięć jednostek wody) wywołuje zjawisko migracji składników rozpuszczalnych zawartych w transportowanych odpadach paleniskowych do wód znajdujących się w hydrotransportie, co powoduje znaczne ograniczenie koncentracji tych składników w zdeponowanych, związanych odpadach paleniskowych. Dlatego, zwiększenie powierzchni ługowania, dla infiltrującej wody zewnętrznej, poprzez rozdrobnienie prób badawczych nie niesie ze sobą zwiększenia wypłukiwanego ładunku analizowanych związków.

Drugą serię badań stanowiły odcieki wykonane dla prób nienaruszonych oraz rozdrobnionych, w których medium infiltrującym przez próbki była woda podziemna. Jej skład chemiczny przedstawia się następująco: pH – 7,5; zawartość substancji rozpuszczonych – 350 mg/dm^3 ; twardość ogólna – 245 mg/dm^3 ; jony: SO_4^{-2} – 150 mg/dm^3 ; Cl^- - 70 mg/dm^3 ; Ca^{+2} - 80 mg/dm^3 . Woda gruntowa wykorzystana do badań, wg klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu, jest wodą wysokiej jakości.

Użycie wody podziemnej do wykonania odcieków ze związanych odpadów paleniskowych spowodowało zmianę jej składu chemicznego. Dla większości analizowanych wskaźników zmiana ta nie spowodowała pogorszenia jakości użytej wody wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r, a w niektórych aspektach można nawet pokusić się o stwierdzenie polepszenia jej jakości, wyrażające się obniżeniem odczynu pH w badanych wodach.

W oparciu o uzyskane wyniki można przedstawić następujące wnioski:

- ✓ we wszystkich analizowanych metodach następuje obniżenie ilości chlorków i siarczanów w odciekach wykonanych z prób rozdrobnionych w stosunku do odcieków wykonanych z prób związanych,

- ✓ to samo zjawisko odnosi się do zawartości wapnia, ale tylko w metodzie hydraulicznej-zmodyfikowanej, w metodach suspensji i mechanicznej zmodyfikowanej następuje zwiększenie zawartości tego pierwiastka w odciekach wykonanych z prób rozdrobnionych,
- ✓ najniższy ładunek Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} przedostaje się do wód podziemnych ze zdeponowanych odpadów paleniskowych składowanych metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną,
- ✓ określone stężenia analizowanych związków z odcieków, dla wszystkich przebadanych technologii składowania odpadów, zawierają się w przedziałach wartości przypisanych wodzie wysokiej jakości (klasa Ib) wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.

Metoda mechaniczna (grupa 2)

Druga grupa badań została wykonana dla trzech rodzajów gruntów i dwóch różnych stosunków masowych odpady/grunt (1:3, 1:10):

- ✓ sypanych reprezentowanych przez piaski,
- ✓ spoistych reprezentowanych przez ropy,
- ✓ tak zwanych „zwałowych” reprezentowanych przez mieszaninę gruntów gliniastych, piaszczysto-gliniastych i piaszczystych.

Na podstawie uzyskanych danych można scharakteryzować przydatność poszczególnych rodzajów gruntów jako składnika mieszanin z odpadami paleniskowymi składowanych na zwałowisku wewnętrznym oraz zaproponować najbardziej korzystne stosunki wagowe użytych materiałów.

Pierwszy wniosek, jaki można sformułować po analizie opracowanych danych to brak zależności liniowej w wielkości ładunków Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} wypłukanych z analizowanej mieszaniny do fazy wodnej dla różnych stosunków wagowych zdeponowanych materiałów, np. około trzykrotne zwiększenie ilości zdeponowanych odpadów nie powoduje trzykrotnego zwiększenia emisji wypłukiwanych związków (porównanie uzyskanych wartości dla stosunków masowych 1:3 i 1:10).

Rozpatrując wyniki uzyskane dla poszczególnych badanych związków, charakterystyczne wydają się wartości uzyskane dla Cl^- . W tej grupie wyników mamy do czynienia tylko z dwoma wielkościami: 1,4 lub 3,2 mg/dm³, które dla poszczególnych rodzajów gruntów przypisane są innym stosunkom masowym:

- ✓ ility – wartość 3,2 mg/dm³ występuje przy stosunku wagowym 1:10,
- ✓ piaski – mamy do czynienia tylko z wartością 1,4 mg/dm³,
- ✓ grunty „zwałowe” – wartość 3,2 mg/dm³ występuje przy stosunkach wagowych 1:3.

Na podstawie uzyskanych wyników, mogą wystąpić trudności w jasnym i precyzyjnym określeniu reguł panujących w procesach zachodzących przy ługowaniu zwałowiska zewnętrznego przez wody podziemne. Zmienność uzyskiwanych wyników wynika także z odmiennych właściwości fizyko-chemiczne (skład chemiczny, uziarnienie, współczynnik filtracji) użytych gruntów. Można przypuszczać, że na uzyskane wartości duży wpływ mogą mieć łatwo utleniające się minerały zawarte w użytych gruntach, które uległy rozkładowi w kontakcie z wodą zewnętrzną.

Pomimo występujących trudności w interpretacji otrzymanych wyników, analizując wszystkie uzyskane wartości można określić grunty oraz stosunki wagowe najbardziej korzystne przy składowaniu odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym. Najniższy ładunek Ca⁺², Cl⁻ i SO₄⁻², stanowiący najmniejsze zagrożenie dla środowiska wodnego zgodnie z rozporządzenia M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r, przedstawia się z fazy stałej do fazy wodnej dla **iłó**w przy stosunku masowym mieszaniny odpadów paleniskowych z gruntami **1:10**. Przydatność **iłó**w do składowania odpadów paleniskowych w metodzie mechanicznej wynika z ich małej wodoprzepuszczalności charakterystycznej dla gruntów ilastych. Zdeponowanie odpadów paleniskowych razem z **iłami** na zwałowisku wewnętrznym spowoduje konsolidację tych dwóch materiałów wywołaną ciężarem gruntów zlokalizowanych na wyższych poziomach. To zjawisko przyczyni się do ograniczenia dostępu infiltrującej wodzie podziemnej do zdeponowanych odpadów paleniskowych. Fakt obniżenie ilości przepływającej wody podziemnej oraz niskie wartości analizowanych związków wypłukiwanymi ze składowanych odpadów paleniskowych kreują ility na najodpowiedniejszy składnik mieszanin odpadowo-gruntowych deponowanych na zwałowisku wewnętrznym, natomiast stosowanie innych rodzajów nadkładu nie eliminuje tej metody.

Prognoza zanieczyszczeń emitowanych do wód podziemnych

Celem niniejszych badań było określenie ilości związków chemicznych, stanowiących zagrożenie dla środowiska wodnego, wypłukiwanych ze związanych odpadów paleniskowych do wód podziemnych. Badaniom poddano materiały zdeponowane w proponowanych składowiskach oraz na zwałowisku wewnętrznym, przy wykorzysta-

niu wyselekcjonowanych metod składowania odpadów paleniskowych. Wcześniejsze badania i analizy tematu pozwoliły autorowi na wskazanie związków odpowiedzialnych za mineralizację wód zewnętrznych – należą do nich: wapń, chlorki oraz siarczany. Analizowane związki stanowią także największe zagrożenie dla środowiska wodnego w rejonach lokalizacji składowisk i zwałowiska wewnętrznego (szczególnie chlorki i siarczany). Przeprowadzone badania pozwoliły określić poziomy analizowanych związków jakie są łągowane przez wody zewnętrzne ze związanymi odpadów paleniskowych dla różnych metod i warunków ich składowania.

Badania zostały wykonane dla dwóch grup technologii deponowania odpadów paleniskowych.

Metody suspensji, mechaniczna-zmodyfikowana i hydrauliczna-zmodyfikowanej (grupa 1)

Badaniom poddano metody: suspensji, mechaniczną-zmodyfikowaną i hydrauliczną-zmodyfikowaną. Przeprowadzone procedury badawcze pozwoliły przypisać uzyskane wyniki do dwóch etapów funkcjonowania składowiska: prawidłowej działalności oraz wystąpienie awarii charakteryzującej się naruszeniem monolitycznej struktury zdeponowanych odpadów.

Wykorzystanie wody podziemnej jako medium oddziałujące na związane odpady umożliwiło porównanie uzyskanych wyników z wartościami określonymi z monitoringu środowiska wodnego dla składowiska „Lubień”. Do porównania wykorzystano dane uzyskanych z monitoringu dla płytkich wód podziemnych. Na podstawie analizowanych wartości (wapń, chlorki oraz siarczany) wody te kwalifikuje się do wód średniej jakości (klasa II). Charakterystyka wód została wykonana w oparciu o klasyfikacje wód dla potrzeb monitoringu, wg rozporządzenia M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.

Analiza uzyskanych wyników pozwala sformułować następujące wnioski:

- ✓ proces związania odpadów paleniskowych powoduje znaczące ograniczenie emisji wapnia, siarczanów i chlorków z badanych materiałów do wód zewnętrznych (emisje analizowanych związków z luźnych odpadów przedstawiono w rozdziale 4.1),

- ✓ naruszenie jednolitej struktury związanych odpadów wiąże się ze zwiększeniem ilości analizowanych związków chemicznych przedostających się do wód zewnętrznych,
- ✓ użycie wody podziemnej do wykonania odcieków ze związanych odpadów paleniskowych nie spowodowało pogorszenia jej jakości,
- ✓ porównanie wyników laboratoryjnych z pomiarami terenowymi uzyskanymi z monitoringu środowiska wodnego składowiska „Lubień”, wykazuje ograniczenie emisji analizowanych związków chemicznych w przypadku składowania materiału w postaci związanej, następuje polepszenie jakości wody z klasy II (monitoring składowiska „Lubień”) do klasy Ib (badania autora),
- ✓ określone stężenia analizowanych związków z odcieków, dla wszystkich przebadanych technologii składowania odpadów, zawierają się w przedziałach wartości przypisanych wodzie wysokiej jakości (klasa Ib) wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r.

Metoda mechaniczna (grupa 2)

W tej grupie analizom poddano odpady składowane metodą mechaniczną. Badania wykonano dla trzech rodzajów gruntów (iły, piaski i grunty zwałowe) oraz dwóch stosunków masowych mieszanin odpadowo-gruntowych (1:3, 1:10). Do odcieków wykorzystano wodę destylowaną.

Analiza uzyskanych wyników pozwala sformułować następujące wnioski:

- brak zależności liniowej pomiędzy wielkościami wypłukiwanych związków a proporcją ilościową zdeponowanych odpadów paleniskowych,
- dla wszystkich rodzajów gruntów najniższa emisja ładunków Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} ze zdeponowanych odpadów paleniskowych do wód zewnętrznych obywa się dla stosunku masowego - **odpad : grunt - 1:10**,
- najodpowiedniejszym składnikiem mieszanin odpadowo-gruntowych deponowanych na zwałowisku wewnętrznym są iły.

Wykonana prognoza oddziaływania zdeponowanych odpadów paleniskowych na środowisko wodne dla różnych metod składowania tych materiałów miała znaleźć odpowiedź na następujące pytania: jaka jest wielkość związków łągowanych ze zdepo-

nowanych odpadów do środowiska wodnego oraz czy ilości przedostające się do wód podziemnych zagrażają ich bezpieczeństwu. Wykonane badania określiły ilość związków przedostających się zdeponowanych odpadów paleniskowych do wód zewnętrznych. Zgodnie z obowiązującymi normami uzyskane wyniki klasyfikują poziom związków przedostających się do wód podziemnych jako bezpieczny dla środowiska wodnego. Składowanie odpadów paleniskowych wyselekcjonowanymi metodami powoduje znaczną modyfikację właściwości fizycznych zdeponowanych odpadów przede wszystkim następuje znaczne obniżenie współczynników filtracji analizowanych materiałów. Taka sytuacja powoduje komplikacje związane z prawidłowym opisaniem wszystkich procesów wywołanych przepływającą wodą zewnętrzną przez związane odpady paleniskowe. W omawianej części pracy autor przedstawił pewne hipotezy zachowania się infiltrującej wody, lecz ich weryfikacja wymagała wykonania dodatkowych prac, które pozwoliły w sposób wiarygodny osiągnąć cel pracy, czyli:

określenie wpływu zdeponowanych odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego na środowisko wodne w zależności od metody ich składowania.

Wymienione prace, między innymi, związane są z modelowaniem hydrogeochemicznym, które umożliwi symulacje przepływu wody zewnętrznej przez związane odpady paleniskowe zaliczane do utworów nieprzepuszczalnych.

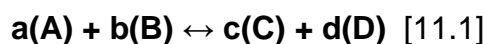
Opisana kwestia została zaprezentowana w następnym rozdziale niniejszej pracy.

11. Modelowanie hydrogeochemiczne

11.1 Charakterystyka modelowania

Modelowanie procesów hydrogeochemicznych jest obecnie jednym z podstawowych zagadnień rozwiązywanych w praktyce hydrogeologicznej. Próby matematycznego opisu procesów hydrogeochemicznych są podejmowane od dawna. Znajdują zarówno zagorzałych zwolenników uważających, że prawa fizykochemiczne są w stanie opisać ilościowo wszystkie procesy hydrogeochemiczne jak i zdecydowanych przeciwników wskazujących na bardzo skomplikowany charakter procesów naturalnych nie dających się opisać ilościowo [43]

Podstawowym założeniem dla modeli hydrogeochemicznych jest równowaga termodynamiczna układu woda – fazy mineralne. W warunkach naturalnych układ szkielet gruntowy – woda, ze względu na ruch wody w warstwie wodonośnej, praktycznie nigdy nie znajduje się w stanie całkowitej równowagi chemicznej. Stosowane w hydrogeologii i naukach pokrewnych modele geochemiczne wód w swoich rozwiązaniach opierają się na układach równań uwzględniających stałe równowagi analizowanych reakcji (rozpuszczanie, dysocjacja, strącanie, hydroliza, reakcje redox, tworzenie par jonowych i jonów kompleksowych) oraz bilansie masy analizowanych składników. Reakcje chemiczne zachodzące pomiędzy fazą stałą, a roztworem są określane poprzez uproszczone schematy obliczeniowe modeli roztworów wodnych liczone dla stanu quasi-równowagi. Sprawne działanie tych modeli wymaga określenia stałej równowagi chemicznej konkretnych reakcji (K), wynikającej z prawa działania mas:



gdzie a,b,c i d są mnożnikami analitycznymi reagentów A,B,C i D. W równowadze skład produktów i substratów jest stały, a opisuje go wartość stałej równowagi (K):

$$K = \frac{[(C)^c (D)^d]}{[(A)^a (B)^b]} \quad [11.2].$$

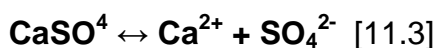
Wartość ta (iloraz stężeń molowych substratów i produktów reakcji) jest stałą równowagi reakcji [11.1]. Analogiczne stałe dla szerokiego zakresu różnych reakcji chemicznych i oddziaływań fizyko – chemicznych są wykorzystywane w modelowaniu geomechanicznym. Bazy danych stałych równowagi w funkcji temperatury ujęte są w postaci tabe-

larycznej i wprowadzone do algorytmów obliczeniowych programów komputerowych (PCWAT-4, Phreeqę, WATEQ4F i innych) służących do modelowania reakcji w roztworach wodnych.

Przebieg reakcji chemicznych oraz stan równowagi jonowej są funkcją aktywności jonów w roztworze, a nie ich stężeń jonowych, dlatego do badań reakcji zachodzących w wodach podziemnych, stężenia jonów przelicza się na ich aktywność. Operacja ta pozwala na charakterystykę wzajemnych oddziaływań zawartych w wodzie związków [40].

Porównując stałą równowagi reakcji (K) czyli iloczyn aktywności składników fazy mineralnej w rzeczywistym roztworze z wartością zdefiniowaną jako iloczyn rozpuszczalności fazy mineralnej (IAP) można określić stan roztworu z punktu widzenia jego równowagi. Iloczyn rozpuszczalności minerału warunkuje największą możliwą do rozpuszczenia ilość danego minerału, a po jej przekroczeniu następuje jego strącenie.

Przykładowo dla anhydrytu iloczyn rozpuszczalności (IAP), jest obliczany jak wskazuje sama nazwa jako iloczyn aktywności wapnia i aktywności siarczanów:



$$\text{IAP} = [\text{aCa}^{2+}] \times [\text{aSO}_4^{2-}] \quad [11.4]$$

gdzie $[\text{aCa}^{2+}]$ $[\text{aSO}_4^{2-}]$ oznaczają aktywności jonów Ca^{2+} i SO_4^{2-}

Stosunek iloczynu aktywności jonów reagujących (IAP) i stałej równowagi (K) wskazuje stopień nasycenia wody analizowanym minerałem. Wskaźnik nasycenia (SI) jest definiowany jako:

$$\text{SI} = \log (\text{IAP}/\text{K}) \quad [11.5]$$

Wskaźnik nasycenia o wartości równej zero informuje nas że teoretycznie ukształtował się stanu równowagi chemicznej w roztworze. Ujemny wskaźnik nasycenia wskazuje na potencjalną możliwość rozpuszczania analizowanego minerału przez roztwór. Wartości dodatnie sugerują możliwość wytrącania się danego minerału z badanego roztworu. Wartość równowagi roztworu wodnego względem danego minerału w wartościach SI, należy przyjmować w przedziale $\pm 5\% \log K$.

11.2 Obliczenia hydrogeochemiczne

Modelowanie numeryczne zostało wykonane przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania PHREEQC.

Phreeqc umożliwia wykonywanie obliczeń symulacyjnych dla określania warunków równowagi roztworów wodnych oraz ma możliwość modelowania procesów fizykochemicznych (sorpcja) i reakcji chemicznych (rozpuszczanie, wymiana jonowa). Phreeqc wszystkie operacje wykonuje poprzez wykorzystanie odpowiednich słów kluczowych, dla roztworu o podanym składzie chemicznym. Dla potrzeb niniejszej pracy wykorzystano słowo kluczowe zdefiniowane jako:

EQUILIBRIUM_PHASES

Używane jest ono do definiowania ilości zgromadzonych faz, które mogą reagować odwracalnie z wodą. W chwili kontaktu analizowanych faz z roztworem wodnym, każda z nich będzie rozpuszczać się aż do momentu osiągnięcia stanu równowagi lub rozkładać całkowicie. Dostępne w programie fazy obejmują zarówno minerały z ustalonym składem jak i gazy z ustalonymi ciśnieniami cząstkowymi. W opisywanym modelowaniu dostępne są dwa typy reakcji: pierwszy, faza sama reaguje do osiągnięcia równowagi; drugi uwzględnia się dodatkowo reakcje alternatywne konieczne do osiągnięcia równowagi roztworu z wyszczególnianą fazą.

Celem modelowania wykonanego w niniejszej pracy było wyznaczenie ilości analizowanych związków chemicznych przedostających się ze związanych odpadów paleniskowych, zdeponowanych na składowisku zlokalizowanym na zwałowisku wewnętrznym w wyrobisku Bełchatów, do wód podziemnych. W prognozie uwzględniono następujące metody deponowania odpadów: suspensji, mechaniczną-zmodyfikowaną oraz hydrauliczną-zmodyfikowaną. Modelowania zostały wykonane dla dwóch grup danych. Pierwsza grupa związana jest z dwoma metodami deponowania odpadów, suspensji i mechaniczną-zmodyfikowaną. Charakterystyka zdeponowanych odpadów paleniskowych analizowanymi technologiami jest bardzo zbliżona do siebie, co umożliwia wykonanie modelowania równocześnie dla obu technologii deponowania. W drugiej grupie analizowano związane odpady deponowane metodą hydrauliczną-zmodyfikowaną. Znacząca różnica w sposobie transportu odpadów paleniskowych występująca w metodzie hydraulicznej-zmodyfikowanej (stosunek wagowy woda : opady wynosi około 10), w stosunku do metod suspensji i mechaniczno-zmodyfikowanej (stosunek wagowy woda :

opady wynosi około 0,5) uniemożliwia równoczesną analizę obu grup zdeponowanych odpadów.

Procedura wykonywanych obliczeń dla obydwóch grup danych jest taka sama. Natomiast, dla poszczególnych grup analizowanych metod następuje zmiana charakterystyk zdeponowanych, związanych odpadów paleniskowych wynikająca z różnych sposobów transportu materiału z elektrowni na składowisko. Efektem tych różnic jest przede wszystkim zmiana ilości związków rozpuszczalnych zawartych w związanych materiałach, dlatego dla poszczególnych grup danych zostały utworzone oddzielne pliki wsadowe umożliwiające prawidłowe wykonanie obliczeń geochemicznych. Poniżej przedstawiono pliki wsadowe utworzone dla analizowanych metod składowania odpadów paleniskowych.

Plik wsadowy dla metody suspensyj i mechanicznej – zmodyfikowanej (grupa 1)

```
SOLUTION 1 Pure water
  pH    7.0
  temp  25.0
EQUILIBRIUM_PHASES 1
  Gypsum      0.0  0.008
  Quartz       0.0  0.016
  Anorthite    0.0  0.012
  Hemotite     0.0  0.004
  Kaolinite    0.0  0.002
REACTION_TEMPERATURE 1
  25.0
SELECTED_OUTPUT
  -file  ex2.sel
  -si    gypsum
END
```

Plik wsadowy dla metody hydraulicznej (grupa 2)

```
SOLUTION 1 Pure water
  pH    7.0
  temp  25.0
EQUILIBRIUM_PHASES 1
  Gypsum      0.0  0.002
  Quartz       0.0  0.016
  Anorthite    0.0  0.012
  Hemotite     0.0  0.004
  Kaolinite    0.0  0.002
REACTION_TEMPERATURE 1
  25.0
SELECTED_OUTPUT
  -file  ex2.sel
  -si    gypsum
END
```

Niskie współczynniki filtracji, klasyfikujące związane odpady paleniskowe do grupy utworów nieprzepuszczalnych, uniemożliwiają wykonania pewnych grup badań laboratoryjnych. Modelowanie numeryczne umożliwia zasymulowanie przepływu wody zewnętrznej (w tym przypadku wody destylowanej) przez zdeponowane odpady, aż do momentu osiągnięcia przez infiltrującą wodę stanu równowagi chemicznej, wyrażonej wskaźnikiem nasycenia $SI = 0$. W warunkach rzeczywistych taka sytuacja jest bardzo mało prawdopodobna. Takie zdefiniowanie problemu umożliwi nam odpowiedź na pytanie co się dzieje z utworami rozpuszczalnymi zawartymi w odpadach paleniskowych po ich związaniu oraz umożliwi porównanie uzyskanych wartości z ekstraktami luźnych odpadów paleniskowych.

W celu określenia wiarygodności danych użytych w modelowaniu określono błąd analizy, który wyliczono z wzoru [42]:

$$x = \frac{(|SK - SA|)}{(|SK + SA|)} \cdot 100 \% \quad [10.6]$$

gdzie: x – błąd analizy [%],

SK – suma anionów wyrażona w mval/dm^3 ,

SA – suma kationów wyrażona w mval/dm^3 .

Wyznaczony błąd analizy dla wykorzystanych pomiarów wynosi 2,4%, czyli mieści się w dopuszczalnych granicach do 5%.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano następujące wartości:

Grupa pierwsza (odpady składowane metodami suspensji i mechaniczną-zmodyfikowaną)

-----Distribution of species-----

Rodzaj oznaczenia	Wynik [mg/dm ³]
Ca_2^+	802
CaSO_4	333
CaOH^+	3,2
CaHSO_4^+	<0,00001
SO_4^{2-}	802
CaSO_4	333
HSO_4^-	3,2
CaHSO_4^+	<0,00001

-----Saturation indices-----

Phase	SI	log IAP	log KT	
Gypsum	-0.36	-4.94	-4.58	CaSO ₄ :2H ₂ O
H ₂ (g)	-12.85	-12.85	0.00	H ₂
H ₂ O(g)	-1.64	-0.00	1.64	H ₂ O
H ₂ S(g)	-32.65	-75.00	-42.35	H ₂ S
O ₂ (g)	-59.13	25.70	84.83	O ₂
Sulfur	-25.74	-62.15	-36.41	S

Wykonane obliczenia geochemiczne potwierdzają założenia autora uzyskane w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych (załącznik nr 9). Wykorzystanie małej ilości wody do zdeponowania i związania odpadów paleniskowych metodami suspensji i mechaniczno-zmodyfikowanej powoduje „uwięzienie” części ładunku Ca⁺² i SO₄⁻² w monolitycznej strukturze związanych odpadów, a tym samym ogranicza możliwości ich wypłukania przez wodę zewnętrzną. Niskie właściwości filtracyjne obniżają prędkość infiltrującej wody, czyniąc ją wodami szczelinowych o bardzo ograniczonej możliwości współdziałania ze środowiskiem infiltrowanym i bardzo niskiej prędkości przepływu. Rozkład minerałów zawartych w odpadach, w tym przypadku, jest znacznie ograniczony, co wyraża się mniejszą ilością przedostających się jonów do wód zewnętrznych z ługowanych materiałów, i dotyczy jedynie powierzchni zewnętrznych bryły związanych odpadów. Naruszenie jednolitej struktury poprzez rozdrobnienie związanych odpadów, zwiększa powierzchnię ługowanie odpadów przez wody zewnętrzne, czego efektem jest wynoszenie dodatkowej „porcji” zanieczyszczeń do środowiska wodnego, lecz nawet w tym przypadku ilość analizowanych związków chemicznych przedostających się do wód zewnętrznych jest o wiele niższa niż w przypadku odpadów nie związanych i stanowi mniejsze zagrożenia dla środowiska wodnego, niż w przypadku odpadów składowanych dotychczasowymi metodami.

Grupa druga (odpady składowane metodą hydrauliczną-zmodyfikowaną)

-----Distribution of species-----

Rodzaj oznaczenia	Wynik [mg/dm ³]
Ca ²⁺	320
CaSO ₄	52
CaOH ⁺	1, 2
CaHSO ₄ ⁺	<0,00001
SO ₄ ²⁻	320
CaSO ₄	52
HSO ₄ ⁻	1, 2
CaHSO ₄ ⁺	<0,00001

-----Saturation indices-----

Phase	SI	log IAP	log KT	
Gypsum	-1.19	-5.77	-4.58	CaSO ₄ :2H ₂ O
H ₂ (g)	-12.81	-12.81	0.00	H ₂
H ₂ O(g)	-1.51	-0.00	1.51	H ₂ O
H ₂ S(g)	-33.60	-75.19	-41.59	H ₂ S
O ₂ (g)	-57.50	25.62	83.12	O ₂
Sulfur	-26.67	-62.38	-35.71	S

W przypadku metody hydraulicznej-zmodyfikowanej duża ilość wody wykorzystanej w transporcie odpadów z elektrowni na składowisko, powoduje znaczne wypłukanie związków rozpuszczalnych z przesyłanego materiału. Przejawem tego zjawiska są niższe wartości parametrów opisujących związane odpady paleniskowe (współczynników filtracji, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, gęstość objętościowa) zdeponowane tą metodą, niż odpadów składowanych metodami suspensji i mechaniczno-zmodyfikowanej. Dane uzyskane z obliczeń geochemicznych potwierdzają to założenie (załącznik nr 9). Wyniki uzyskane dla tej grupy są około 3-krotnie mniejsze niż w przypadku wartości uzyskanych dla odpadów z grupy pierwszej i z odpadów luźnych. W oparciu o uzyskane dane można sformułować wniosek, że:

metoda hydrauliczna-zmodyfikowana jest jedną z najbardziej odpowiednich metod, z pośród analizowanych w pracy, do składowania odpadów paleniskowych w warunkach bełchatowskich.

Reasumując, sytuacja w której woda podziemna infiltruje bryłę związanych odpadów paleniskowych jest mało prawdopodobna. Niskie współczynniki filtracji klasyfikują związane odpady do grupy utworów nieprzepuszczalnych. Woda podziemna będzie omijać związane odpady paleniskowe. Jeżeli dojdzie do infiltracji wody zewnętrznej przez odpady, jej ilość będzie pomijalna w stosunku do całkowitej masy wód podziemnych.

12. Propozycje metod składowania odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A.

Użycie materiałów kopalnych, w omawianym przypadku węgla brunatnego, do wytwarzania energii elektrycznej jest nieodzownie połączone z problemem zagospodarowania odpadów powstałych w wyniku technologicznego spalania kopaliny. Próby gospodarczego wykorzystania odpadów paleniskowych nie spowodowały zwiększenia zapotrzebowania na te materiały. Nadal podstawową metodą utylizacji jest ich lokowanie na składowiskach. Taka sytuacja wymaga zwiększenia nacisku na sposób składowania odpadów paleniskowych, a w szczególności na ograniczeniu wpływu zdeponowanych materiałów na środowisko naturalne. W analizach dotyczących składowania niezbędne jest uwzględnienie technologii transportu i deponowania odpadów oraz miejsc lokalizacji proponowanych składowisk. Pomysł lokalizacji składowiska na poziomach zwałowiska wewnętrznego zlokalizowanego w wyrobisku kopalni odkrywkowej pozwala rozwiązać dwa istniejące problemy, czyli brak wystarczająco dużych składowisk dla odpadów paleniskowych oraz wypływanie wyrobiska końcowego kopalni odkrywkowej. Zdeponowanie odpadów paleniskowych w rejonie występowania wód podziemnych rodzi niebezpieczeństwo zanieczyszczenia ich substancjami znajdującymi się w tych materiałach. Deponowanie odpadów w proponowanych lokalizacjach musi być powiązane z doбором odpowiednich technologii składowania, które zapewnią bezpieczeństwo środowisku wodnemu.

W niniejszym rozdziale przedstawiono rozważane metody składowania odpadów paleniskowych, które mogą być wykorzystane przy deponowaniu odpadów w składowiskach zlokalizowanych na poziomach zwałowiska wewnętrznego oraz jako element budujący zwałowisko wewnętrzne w odkrywce „Bełchatów”. Dla każdej zaprezentowanej metody przeprowadzono analizę, w której określono jej wady i zalety, potrzebne udoskonolenia w celu dostosowania do specyficznych warunków lokalizacji oraz wpływ na środowisko wodne. Analiza polegała na charakterystyce danej metody zawierającej się w 6 punktach:

1. Opis metody
2. Wpływ na środowisko wodne zdeponowanych odpadów
3. Zalety wynikające z zastosowania metody

4. Wady związane z zastosowaniem metody
5. Założenia umożliwiające stosowanie metody w rejonie występowania wód podziemnych
6. Możliwość stosowania metody.

Analizie poddano cztery technologie składowania odpadów:

- ✓ metoda suspensji,
- ✓ metoda mechaniczna – zmodyfikowana,
- ✓ metoda hydrauliczna – zmodyfikowana,
- ✓ metoda mechaniczna.

Metoda suspensji

1) Opis metody

Istotą tej metody jest występowanie zjawiska tiksotropii, czyli upłynnianie się żeli przy mechanicznym działaniu i zestalanie po pewnym czasie ponownie na żel, analogiczny do żelu pierwotnego. Opierając się na znajomości właściwości fizycznych i składu chemicznego bełchatowskich odpadów paleniskowych stwierdza się, że ich intensywne mieszanie z wodą w ilości odpowiadającej objętości międzyziarnowej doprowadzi do uzyskania mieszanin tiksotropowych, łatwo transportowalnych hydraulicznie i ulegających zestaleniom na składowisku. Powyższe założenie zostało potwierdzone przez autora, który w wyniku przeprowadzonych prac badawczych przy stosunku wagowym wody do popiołu 1:1,85 otrzymał materiały, których czas wiązania wynosił 73 h. Po związaniu wytrzymałość na jednoosiowe ścislenie wynosiła 4,1 MPa, sezonowanie w wodzie zewnętrznej nie wykazało osłabienia ich wytrzymałości, a współczynnik filtracji związanych odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą suspensji wynosi $5,49 \cdot 10^{-9}$ m/s (rozdział 8 „Uzyskane wyniki...”). Niskie właściwości filtracyjne związanych odpadów wiążą się ze znacznym obniżeniem prędkości infiltrującej wody. Infiltrująca woda w tych materiałach ma charakter wód szczelinowych o bardzo ograniczonej możliwości współdziałania ze środowiskiem infiltrowanym. Rozkład minerałów zawartych w odpadach jest w tym przypadku znacznie ograniczony, co wyraża się mniejszą ilością przedostających się jonów do wód zewnętrznych z ługowanych materiałów. Potwierdzeniem tego są wyniki uzyskane z badań odcieków (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Otrzymane wartości wypłukanych związków dla serii badań, wg klasyfikacji wód pod-

ziemnych dla potrzeb monitoringu zawierają się w przedziale odpowiadającym wodzie wysokiej jakości.

2) Wpływ na środowisko wodne zdeponowanych odpadów

Określenie wpływu odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą suspensji na środowisko wodne zostało opracowane poprzez wykonanie badań laboratoryjnych. Ich celem było określenie ilości związków chemicznych, stanowiących zagrożenie dla środowiska wodnego, wypłukiwanych ze związanych odpadów paleniskowych. Wcześniejsze badania i analizy pozwoliły na wskazanie związków stanowiących największe zagrożenie dla środowiska wodnego, należą do nich: chlorki oraz siarczany. Na podstawie wykonanych badań określono poziomy analizowanych związków jakie są ługowane przez wody zewnętrzne ze związanych odpadów paleniskowych składowanych metodą suspensji (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- ✓ proces związania odpadów paleniskowych powoduje znaczące ograniczenie emisji analizowanych związków z badanych materiałów do wód zewnętrznych,
- ✓ wielkości analizowanych związków chemicznych z wykonanych odcieków, wykorzystane jako parametry charakteryzujące wodę w oparciu o klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu, wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r., przypisują ją do wód wysokiej jakości (klasa Ib),
- ✓ **składowanie odpadów paleniskowych metodą suspensji znacznie ogranicza ujemny wpływ deponowanych materiałów na środowisko wodne w rejonie lokalizacji składowiska.**

3) Zalety wynikające z zastosowania metody

Działania wynikające z zastosowania technologii suspensji do składowania odpadów paleniskowych na poziomach pośrednich zwałowiska wewnętrznego i dnie wyrobiska Bełchatów powoduje wystąpienie pozytywnych rezultatów związanych z aspektami technologicznymi i środowiskowymi. Najważniejszą zaletą związaną z technologią składowania odpadów metodą suspensji jest mała ilość użytej wody technologicznej – w stosunku do metody hydraulicznej występuje około 18 krotne ograniczenie użytej wody. Tak znaczne zmniejszenie wody potrzebnej do przetransportowania odpadów z elektrowni na składowisko powoduje ograniczenie zużycia energii i wykorzystanych materiałów. Następną zaletą wynikającą z zastosowania technologii suspensji jest wyż-

sza gęstość objętościowa ($\rho = 1,26 \text{ g/cm}^3$) związanych odpadów, w stosunku do odpadów zdeponowanych metodą hydrauliczną ($\rho = 0,59 \text{ g/cm}^3$). Lokowanie odpadów paleniskowych w przygotowanych kwaterach w postaci związanej, dzięki takiej gęstości, pozwoli wydłużyć ponad dwukrotnie czas eksploatacji zbiorników w stosunku do metod obecnie stosowanych. Wymienione zalety związane z technologią składowania umożliwiają ograniczenie kosztów składowania odpadów wynikające ze zmniejszenia zużycia energii i wykorzystanych materiałów oraz zmniejszenie nakładów przeznaczanych na budowę i eksploatację składowisk, dzięki wydłużeniu czasu ich użytkowania. Prawidłowe zaplanowanie lokalizacji oraz gabarytów przyszłych zbiorników umożliwi rozwiązanie problemu składowania odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla pozyskiwanego z odkrywki Bełchatów oraz budowanej odkrywki Szczerców.

Druga grupa korzyści wynikająca z zastosowania metody suspensji dotyczy aspektów związanych z ochroną środowiska. Poprzez wykorzystanie transportu hydraulicznego, w którym następuje połączenie transportowanych odpadów z wodą eliminujemy ich pylenie podczas przesyłania i deponowania na składowisku. Następnie wiązanie zdeponowanego materiału w zbiornikach składowiska powoduje wytworzenie skonsolidowanego „złoża” odpadów paleniskowych. Ta cecha decyduje o ograniczeniu wpływu tak składowanych odpadów na środowisko wodne. Związanie zdeponowanych materiałów powoduje zmniejszenie ich współczynnika filtracji oraz wiązanie części ładunku minerałów łatwo rozpuszczalnych przez wodę zewnętrzną (powierzchniową lub podziemną). Wymienione właściwości powodują ograniczenie emisji zanieczyszczeń zgromadzonych w zdeponowanym materiale do środowiska wodnego.

Omówione korzyści płynące z zastosowania metody suspensji stawiają ją jako technologię bezpieczną dla środowiska naturalnego, dzięki czemu nie ma przeciwwskazań do jej zastosowanie przy składowaniu odpadów paleniskowych na poziomach zwalówiska wewnętrznego w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów, któremu przypisano wodną metodę rekultywacji.

4) Wady związane z zastosowaniem metody

Stosowanie metody suspensji ogranicza oddziaływania na środowisko naturalne zdeponowanych odpadów. Podstawową wadą związaną z zastosowaniem tej technologii w Elektrowni „Bełchatów” S.A. jest konieczność zmiany infrastruktury obecnie wykorzystywanej do przesyłania odpadów do potrzeb metody suspensji. Poprzez modyfikację rozumie się potrzebę zainstalowania pomp o innych charakterystykach i więk-

szych wydajnościach niż obecnie stosowane, uruchomienie instalacji do wytwarzania suspensji, zmianę technik przesyłania odpadów paleniskowych z bloków elektrowni do pompowni bagrowych, przy których mógłby być zlokalizowany zakład wytwarzania suspensji oraz nowe trasy rurociągów transportujących odpady z elektrowni na składowiska.

Bardzo ważnym elementem metody suspensji jest stosowanie odpowiednich proporcji przy mieszaniu odpadów i wody. W przypadku przesyłania odpadów do pompowni bagrowych przy użyciu sieci kanałów dochodzi do ich wymieszania bez odpowiedniej kontroli, dlatego w przypadku stosowania metody suspensji konieczne by było przekazywanie odpadów paleniskowych bezpośrednio z systemów odpopielania do instalacji wytwarzającej suspensje. Ten sposób przekazywania odpadów ma miejsce przy transporcie mechanicznym odpadów, lecz teraz odpady przekazywane byłyby do zakładu wytwarzania suspensji, a nie zakładu wstępnej obróbki odpadów. Zakład wytwarzania suspensji w swojej działalności może opierać się na doświadczeniach związanych z transportem mechanicznym popiołów. Granulatory wykorzystywane do wstępnej obróbki odpadów, doskonale nadają się do potrzeb wytwarzania suspensji. Należy tylko opracować procedury mieszania, dzięki którym dojdzie do połączenia odpadów z wodą w proporcji 1,85:1. Tak przygotowaną mieszaninę suspensji należy wtłoczyć do rurociągów i przesyłać na składowisko. Ciężar jednostkowy suspensji jest wyższy niż mieszanin odpadów i wody powstałych w metodzie hydraulicznej, dlatego nie można wykorzystać obecnie stosowanych rurociągów do ich przesyłania na składowiska. Obecnie wykorzystywane rurociągi były projektowane dla mniejszych ciężarów i ich wytrzymałość jest nie wystarczająca do transportu suspensji, dlatego w przypadku wykorzystania omawianej metody konieczne jest wybudowanie nowych rurociągów transportujących odpady na składowisko hydraulicznie lub zastosowanie innego rozwiązania transportu np. pneumatycznego.

5) Założenia umożliwiające stosowanie metody w rejonie występowania wód podziemnych

Warunkiem koniecznym do spełnienia w przypadku składowania odpadów paleniskowych na składowisku zlokalizowanym w rejonie występowania wód podziemnych, jest ich deponowanie w postaci związanej. W warunkach Elektrowni „Bełchatów” S.A. wykonanie inwestycji dostosowujących istniejącą infrastrukturę wykorzystywaną w hydraulicznym składowaniu odpadów, do potrzeb metody suspensji, umożliwi wytworzenie

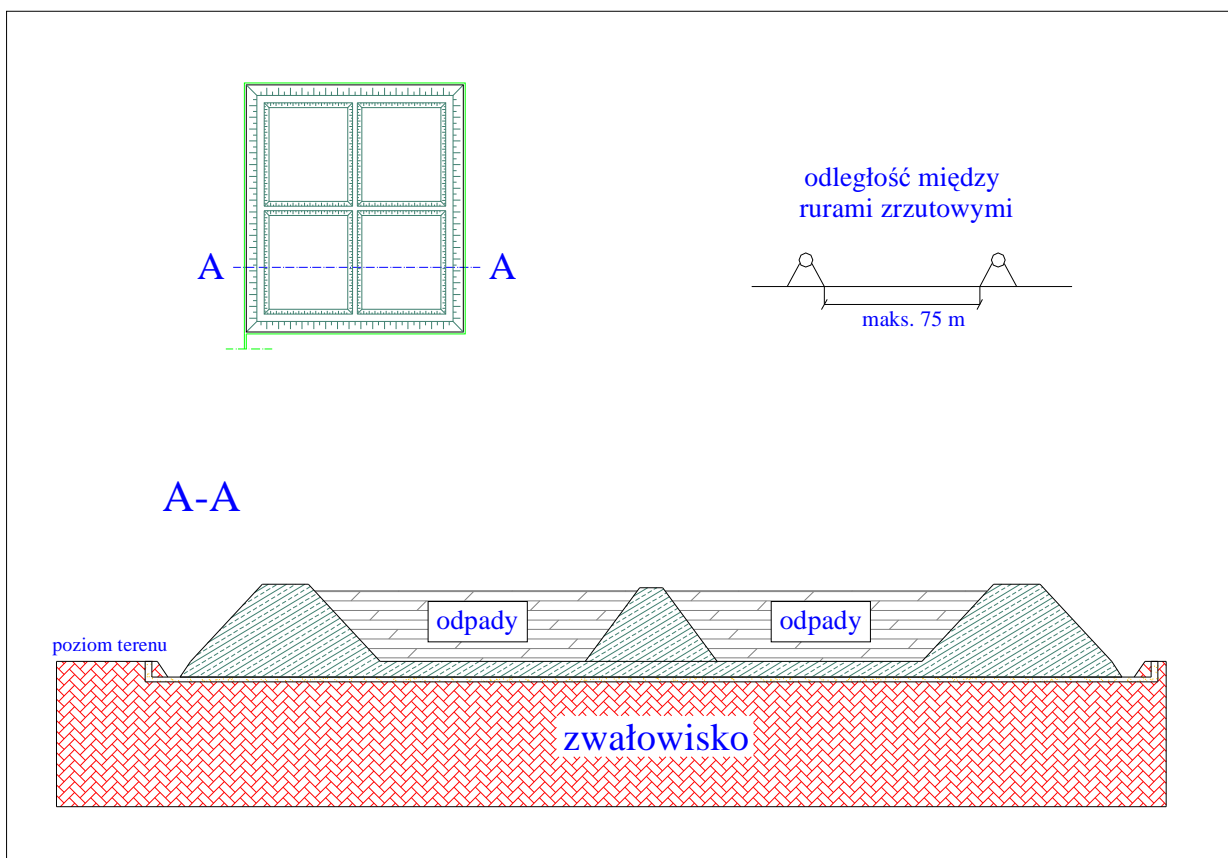
odpowiedniej mieszaniny i jej przetransportowanie na składowisko. Prawidłowe związanie odpadów paleniskowych zdeponowanych na składowisku nastąpi po spełnieniu ściśle określonych zasad składowania, związanych z dwoma zagadnieniami technologicznymi:

- ✓ ilością rur zrzutowych,
- ✓ geometrią poszczególnych zbiorników.

W przypadku metody suspensji nie można lokować transportowanej mieszaniny w kilku dużych zbiornikach, tak jak ma to miejsce przy składowaniu hydraulicznym obecnie stosowanym. Składowisko zlokalizowane na zwałowisku wewnętrznym w wyrobisku Bełchatów składa się z trzech dużych zbiorników, w których będą lokowane odpady. Średnie wymiary zbiorników wynoszą 1200 na 600 metrów. Rozpływ suspensji nie jest wystarczająco duży by pokryć taki obszar [21], dlatego w przypadku stosowania metody suspensji zbiornik powinien zostać podzielony na kilka komór. Ich szerokość nie powinna przekraczać 100 metrów, a długość może pozostać nie zmieniona. Rozmieszczenie rur zrzutowych po obu stronach komory co około 75 metrów zapewni odpowiednie pokrycie zdeponowanym materiałem dna komory i umożliwi pełne związanie składowanych odpadów. Składowiska na odpady paleniskowe, w których materiał będzie zdeponowany metodą suspensji powinny składać się przynajmniej z dwóch zbiorników składających się z kilku komór, których napełnianie powinno odbywać się rotacyjnie (rys. 12.1).

6) Możliwość stosowania metody

Analizy wykonane przez autora w niniejszej pracy pozwalają sformułować następujący wniosek: **metoda suspensji - wykorzystana do składowania odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A. - jest technologią bezpieczniejszą dla środowiska naturalnego niż obecnie stosowane.** Odpady zdeponowane metodą suspensji na poziomach zwałowiska wewnętrznego stanowią niskie zagrożenia dla wód podziemnych (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”).



Rys. 12.1 Schemat zbiornika składowiska odpadów paleniskowych deponowanych metodą suspensji

Zgodnie z klasyfikacją zawartą w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r pod względem bezpieczeństwa środowiska wodnego nie ma żadnych przeciwwskazań do stosowania metody suspensji. Czynnikiem wpływającym niekorzystnie na możliwość wykorzystania tej technologii w warunkach Elektrowni „Bełchatów” S.A. jest wysoki koszt związany z przebudową istniejącej infrastruktury. Stosowanie tej metody w obecnie pracującej elektrowni jest uwarunkowane jej możliwościami finansowymi. Natomiast metoda suspensji powinna być rozważana, przy projektowaniu systemu odprowadzania odpadów paleniskowych z nowo projektowanego bloku Elektrowni „Bełchatów” S.A., w którym będzie spalany węgiel głównie z odkrywki Szczerców.

Metoda mechaniczno – zmodyfikowana

1) Opis metody

Technologia mechaniczna – zmodyfikowana jest efektem połączenia dwóch metod deponowania odpadów paleniskowych. Transport materiału na składowisko opiera się na doświadczeniach związanych ze składowaniem popiołów paleniskowych metodą suchą (mechaniczną), w której materiał transportuje się systemem obudowanych przenośników taśmowych ($B=1800$). W celu ograniczenia nadmiernego pylenia odpady przed zsypaniem na przenośniki nawilża się wodą z kondycjonerem w granulatorach, a dodatkowo na wszystkich przesypach zrasza się je wodą. Natomiast do zdeponowania odpadów wykorzystuje się technologię związaną z metodą suspensji opierającą się na zjawisku tiksotropii, czyli upłynniania się żeli przy mechanicznym działaniu i zestalanie po pewnym czasie ponownie na żel, analogiczny do żelu pierwotnego.

Odpady z elektrowni kierowane są do zakładu wytwarzania suspensji zlokalizowanego przy składowiskach. Stamtąd, wymieszany materiał z wodą lokowany jest w przygotowanych kwaterach, gdzie ulega zestaleni. W ten sposób uzyskujemy materiał, którego czas wiązania wynosił 78 h, po związaniu wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie wynosiła 5,7 MPa, sezonowanie w wodzie zewnętrznej nie wykazało osłabienia jego wytrzymałości, a współczynnik filtracji wynosi $4,78 \cdot 10^{-9}$ m/s (rozdział 8 „Uzyskane wyniki...”). Niskie właściwości filtracyjnych związanych odpadów ograniczają prędkość infiltrującej wodzie, zmniejszając ilość związków przedostających się do wód zewnętrznych z ługowanych materiałów. Połączenie dwóch metod składowania odpadów w technologii mechaniczno-zmodyfikowanej umożliwia wykorzystanie transportu obecnie stosowanego w działalności Elektrowni „Bełchatów” S.A., a jednocześnie umożliwia znaczne ograniczenie wpływu zdeponowanego materiału na środowisko wodne.

2) Wpływ na środowisko wodne zdeponowanych odpadów

Wpływ odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą mechaniczno – zmodyfikowaną na środowisko wodne został określony na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych. Ich celem było określenie ilości związków chemicznych, stanowiących zagrożenie dla środowiska wodnego. Na podstawie wykonanych badań określono pozio-

my analizowanych związków jakie są ługowane przez wody zewnętrzne ze związanych odpadów paleniskowych składowanych metodą mechaniczno – zmodyfikowaną (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- ✓ proces związania odpadów paleniskowych powoduje znaczące ograniczenie emisji analizowanych związków z badanych materiałów do wód zewnętrznych,
- ✓ wielkości analizowanych związków chemicznych z wykonanych odcieków, wykorzystane jako parametry charakteryzujące wodę w oparciu o klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu, wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r., przypisują ją do wód wysokiej jakości (klasa Ib),
- ✓ **składowanie odpadów paleniskowych metodą mechaniczno – zmodyfikowaną znacznie ogranicza ujemny wpływ zdeponowanych materiałów na środowisko wodne w rejonie lokalizacji składowiska.**

3) Zalety wynikające z zastosowania metody

Podstawowe korzyści związaną z zastosowaniem metody mechaniczno - zmodyfikowanej dotyczą aspektów związanych z ochroną środowiska. Związanie składowanych odpadów paleniskowych w kwaterach, tak samo jak w metodzie suspensji, powoduje wytworzenie skonsolidowanego „złoża”, które poprzez swoje właściwości (zmniejszenie współczynnika filtracji, związanie części ładunku minerałów łatwo rozpuszczalnych) w znacznym stopniu ogranicza wpływu zdeponowanych materiałów na środowisko wodne. Dodatkowo stosowanie tej metody pozwala wykorzystać istniejącą infrastrukturę przemysłową do transportu odpadów na składowiska.

Zaletą związaną z technologią składowani odpadów tą metodą jest wyższa gęstość objętościowa ($\rho = 1,31 \text{ g/cm}^3$) związanych odpadów, w stosunku do odpadów transportowanych metodą hydrauliczną ($\rho = 0,59 \text{ g/cm}^3$). Dzięki tej właściwości zdeponowanego materiału, istnieje możliwość 2-krotnego przedłużenia eksploatacji projektowanych składowisk.

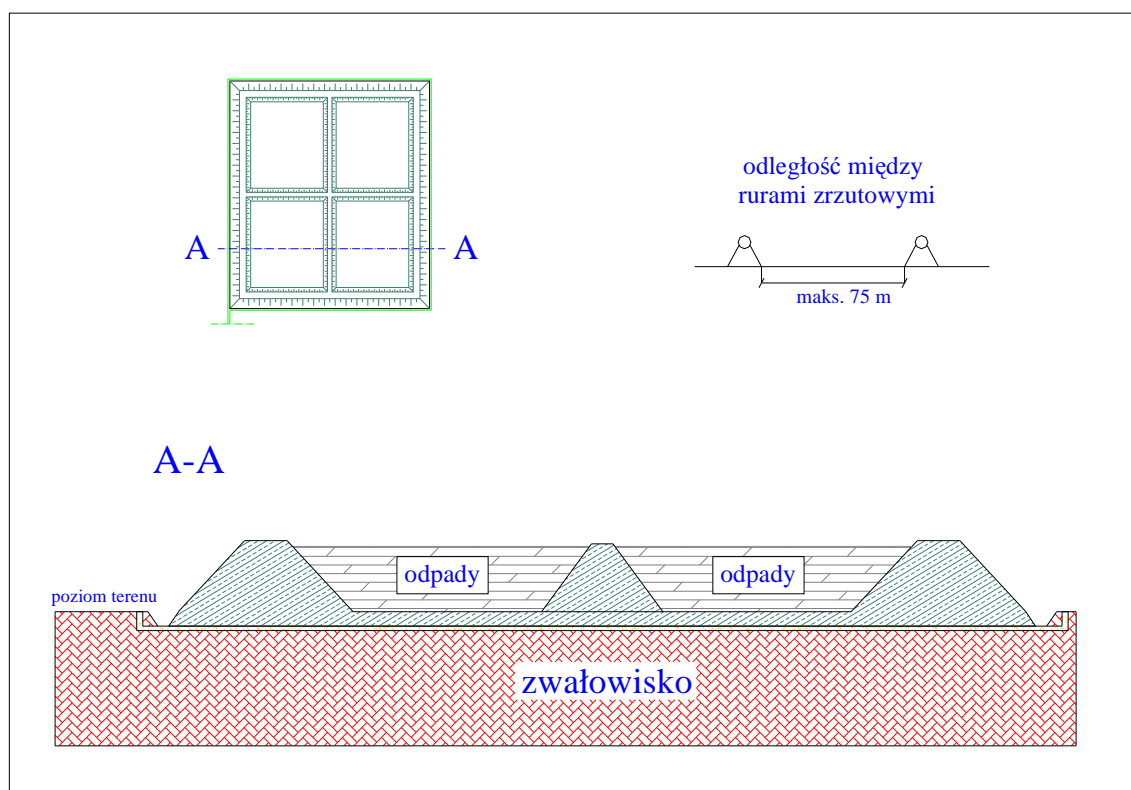
4) Wady związane z zastosowaniem metody

Podstawową wadą związaną z zastosowaniem metody mechaniczno - zmodyfikowanej w warunkach Elektrowni „Bełchatów” jest konieczność budowy zakładu wytwarzania suspensji, stacji pomp zlokalizowanych przy składowiskach, systemu rurociągów rozprowadzających utworzoną mieszaninę do przygotowanych kwater oraz dostosowa-

nie obecnej infrastruktury do składowania żużli i popiołów wychwytywanych przed elektrofiltrami. Zakład wytwarzania suspensji w swojej działalności może opierać się na doświadczeniach związanych z transportem mechanicznym popiołów. Granulatory wykorzystywane do wstępnej obróbki odpadów, doskonale nadają się do potrzeb wytwarzania mieszaniny wody z odpadami lokowanymi na składowiskach. Utworzenie odpowiednich procedur mieszania umożliwi przygotowanie odpowiedniej konsystencji mieszaniny deponowanej w kwaterach. Tak przygotowany materiał, przy wykorzystaniu pompowni, należy wtłoczyć do rurociągów, które rozprowadzą go do przygotowanych składowisk.

5) Założenia umożliwiające stosowanie metody w rejonie występowania wód podziemnych

Właściwości fizyczne mieszaniny wody i odpadów uzyskiwanej w metodzie mechaniczno – zmodyfikowanej są bardzo zbliżone do właściwości materiałów uzyskiwanych w metodzie suspensji, dlatego założenia umożliwiające stosowanie tej metody poniżej zwierciadła wód podziemnych są takie same jak w przypadku metody suspensji. Podstawowym warunkiem wymagającym spełnienia jest związanie zdeponowanego materiału. Proces ten będzie przebiegał właściwie tylko w przypadku prawidłowego rozwiązania dwóch zagadnień technologicznych związanych z ilością rur zrzutowych oraz geometrią poszczególnych zbiorników. Rozpływ mieszaniny uzyskanej w metodzie mechaniczno - zmodyfikowanej nie jest wystarczający by pokryć duży obszar dna zbiornika [21], tak jak ma to miejsce w przypadku metody hydraulicznej. W przypadku stosowania omawianej metody komory, w których będą deponowane odpady muszą posiadać odpowiednią geometrię. Ich szerokość nie powinna przekraczać 100 metrów, natomiast długość jest uzależniona od rozmieszczenia rur zrzutowych, których odległości pomiędzy nimi nie może przekroczyć 75 metrów, po obu stronach komory. Składowiska na odpady paleniskowe, w których materiał będzie deponowany metodą mechaniczno – zmodyfikowaną powinny składać się przynajmniej z dwóch zbiorników składających się z 4 komór, których napełnianie powinno odbywać się rotacyjnie (rys.12.2).



Rys. 12.2 Schemat zbiornika składowiska odpadów paleniskowych deponowanych metodą mechaniczną – zmodyfikowaną

6) Możliwość stosowania metody

Prace wykonane przez autora pozwalają sformułować następujący wniosek: **metoda mechaniczna - zmodyfikowana wykorzystana do składowania odpadów paleniskowych uzyskiwanych ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A. - jest technologią bezpieczniejszą dla środowiska naturalnego niż metody obecnie stosowane.** Odpady zdeponowane metodą mechaniczno-zmodyfikowaną na poziomach zwalówiska wewnętrznego w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów nie stanowią zagrożenia dla wód podziemnych (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Pod względem bezpieczeństwa środowiska wodnego nie ma żadnych przeciwwskazań do stosowania tej metody zgodnie z klasyfikacją zawartą w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r. Propozycja wykorzystania przenośników taśmowych do transportu odpadów w celu uzyskania zaczynu odpadowego jest podejściem nowatorskim w swoim rozwiązaniu i w przypadku Elektrowni „Bełchatów” S.A. możliwym do wdrożenia. Czynnikiem wpływającym niekorzystnie na możliwość wykorzystania tej technologii są natomiast koszty związane z budową zakładu wytwarzania suspensji, stacji pomp zlokalizowanych przy składowiskach oraz systemu rurociągów rozprowadzających utworzoną mieszaninę do przygotowanych kwater.

Metoda hydrauliczna-zmodyfikowana

1) Opis metody

Technologia hydrauliczna - zmodyfikowana polega na wymieszaniu odpadów paleniskowych z wodą tworząc mieszaninę zdolną do przetransportowania jej systemem rurociągów z Elektrowni na składowisko. Stosunek wagowy odpadów i wody wynosi 1:10. Obecnie metoda hydrauliczna (bez modyfikacji) jest stosowana na składowisku „Lubień”, gdzie deponuje się żużle oraz popioły wychwytywane przed elektrofiltrami bloków Elektrowni „Bełchatów” S.A. Składowisko podzielone jest na pięć kwater, które napełniane są rotacyjnie. Jeżeli składowanie odbywa się na jednej z kwater, wcześniej eksploatowana kwatera jest osuszana poprzez spust wody nadosadowej, a jej obwałowania podnoszone przez nagarnianie sychaczami wcześniej zdeponowanego popiołu. Taka technologia budowy obwałowań umożliwi zakwalifikowanie użytych odpadów jako wykorzystane gospodarczo, lecz także wiąże się z niekorzystnym wpływem zdeponowanych materiałów na środowisko wodne, wyrażającym się pogorszeniem jakości wód podziemnych w rejonie składowiska (rozdział 9 „Określenie zanieczyszczeń...”). W celu dostosowania tej metody do nowych warunków lokalizacji jakimi są poziomy zwałowiska wewnętrzne w wyrobisku końcowym kopalni odkrywkowej musi nastąpić zmiana filozofii składowania odpadów metodą hydrauliczną wyrażająca się deponowaniem materiału w specjalnie przygotowanych kwaterach, gdzie lokowane odpady paleniskowe ulegną związaniu. Wykonane prace badawcze wykazały, że wprowadzenie odpowiednich modyfikacji związanych z technologią deponowania odpadów umożliwi ich związanie na składowisku. W ten sposób uzyskujemy materiał, którego wytrzymałość na jednoosiowe ścisnienie wynosiła 0,4 MPa, sezonowanie w wodzie zewnętrznej nie wykazało osłabienia jego wytrzymałości, współczynnik filtracji wynosi $6,23 \cdot 10^{-8}$ m/s, a gęstość objętościową związanych odpadów określono na poziomie $\rho = 0,94$ g/cm³, czyli o 60% większą niż gęstość odpadów deponowanych bez modyfikacji ($\rho = 0,59$ g/cm³) (rozdział 8 „Uzyskane wyniki...”).

2) Wpływ na środowisko wodne zdeponowanych odpadów

Wpływ odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą hydrauliczną-zmodyfikowaną, na środowisko wodne został określony na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych. Ich celem było określenie ilości związków chemicznych, przedostających się ze związanych odpadów paleniskowych do środowiska wodnego. Wcześniej-

sze badania i analizy tematu pozwoliły na wskazanie związków stanowiących największe zagrożenie dla środowiska wodnego, należą do nich: chlorki oraz siarczany. Na podstawie wykonanych badań określono poziomy analizowanych związków jakie są ługowane przez wody zewnętrzne ze związanych odpadów paleniskowych składowanych metodą hydrauliczną – zmodyfikowana (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- ✓ proces wiązania odpadów paleniskowych powoduje znaczące ograniczenie emisji analizowanych związków z badanych materiałów do wód zewnętrznych,
- ✓ wielkości analizowanych związków chemicznych z wykonanych odcieków, wykorzystane jako parametry charakteryzujące wodę w oparciu o klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu, wg klasyfikacji zawartej w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r., przypisują ją do wód wysokiej jakości (klasa Ib),
- ✓ **składowanie odpadów paleniskowych metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną znacznie ogranicza ujemny wpływ deponowanych materiałów na środowisko wodne w rejonie lokalizacji składowiska.**

3) Zalety wynikające z zastosowania metody

Korzyści wynikające z zastosowania metody hydraulicznej - zmodyfikowanej związane są z aspektami bezpieczeństwa środowiska naturalnego oraz możliwością wykorzystania istniejącej infrastruktury oraz zwiększenie ilości lokowanych odpadów w projektowanych zbiornikach o ~60%.

Transport hydrauliczny poprzez połączenie transportowanych odpadów z wodą eliminuje ich pylenie podczas przesyłania i deponowania na składowisku. Wiązanie zdeponowanego materiału w zbiornikach składowiska powoduje wytworzenie skonsolidowanego „złoża” odpadów paleniskowych, dzięki czemu ogranicza się ich wpływ na środowisko wodne. Wymienione cechy, związane z metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną, stawiają ją jako bezpieczniejsza dla środowiska naturalnego niż sposób obecnie stosowany.

Obecnie wykorzystywana infrastruktura w metodzie hydraulicznej nie wymaga jakichkolwiek modernizacji i nadaje się do dalszego wykorzystania. Proces wiązania odpadów paleniskowych odróżniająca opisywaną metodę hydrauliczną-zmodyfikowaną od obecnie stosowanej jest związany ze zmianą zasad deponowania odpadów, a nie ich przesyłania. Transport w obydwu przypadkach jest taki sam i dodatkowo można go stosować bez względu na niskie temperatury.

Wyższa gęstość objętościowa odpadów paleniskowych zdeponowanych metodą hydrauliczną – zmodyfikowaną ($\rho = 0,94 \text{ g/cm}^3$), w stosunku do obecnie wykorzystywanej metody hydraulicznej ($\rho = 0,59 \text{ g/cm}^3$), pozwoli przedłużyć czas eksploatacji składowisk odpadów, co spowoduje ograniczenie kosztów deponowania odpadów powstałych w wyniku spalania technologicznego węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” S.A.

4) Wady związane z zastosowaniem metody

Analizując wady metody hydraulicznej - zmodyfikowanej należy rozdzielić dwie dziedziny: technologię pracy związaną z tą metodą oraz wpływ zdeponowanych materiałów metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną na środowisko naturalne.

Podstawową, a zarazem jedyną wadą związaną z technologią składowania odpadów metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną jest duża ilość użytej wody technologicznej – potrzeba 10 ton wody na przetransportowania 1 tony odpadów. Tak znaczne zużycie wody technologicznej wiąże się ze znacznymi kosztami wynikającymi ze zużycia energii elektrycznej i wykorzystanych materiałów.

Wpływ zdeponowanych odpadów na środowisko wodne należy rozpatrzyć w dwóch aspektach: obecnie stosowanej metody oraz w aspekcie stosowania metody przy założeniu związania zdeponowanego materiału. Obecnie w zbiornikach, w których składowane są odpady przy wykorzystaniu metody hydraulicznej występuje zjawisko segregacji. Cząstki grubsze, o większej gęstości osadzają się szybciej, natomiast te drobniejsze przemieszczają się wraz z wodą w kierunku studni przelewowych, gdzie osiadają. Na skutek segregacji w różnych miejscach kwatery osadzają się odpady, których cechy są zróżnicowane i zmieniają się w czasie. W poszczególnych strefach składowiska występuje zróżnicowanie takich cech jak: skład granulometryczny, porowatość, współczynnik filtracji, kąt tarcia wewnętrznej oraz gęstości. Dodatkowo w przypadku braku zabezpieczeń dna i obwałowań składowiska umożliwia filtrację wodzie osadowej ze zbiorników do utworów czwarto- i trzeciorzędowych, gdzie następuje zanieczyszczenie wód podziemnych. Zastosowanie metody hydraulicznej – zmodyfikowanej przy uwzględnieniu zaleceń umożliwiających składowanie odpadów w postaci związanej wyeliminuje wszystkie mankamenty związane z obecnie stosowaną technologią. Zmodyfikowanie sposobu deponowania odpadów w zbiornikach umożliwi wytworzenie skonsolidowanego „złoża” odpadów paleniskowych, a odpowiednie zarządzanie wodą osadową ograniczy wpływ składowanych odpadów na środowisko wodne. Reasumując można

stwierdzić, że składowanie odpadów metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną, przy założeniu związania zdeponowanego materiału, nie wiąże się z poważniejszymi wadami, które mogły by dyskwalifikować tą metodę.

5) Założenia umożliwiające stosowanie metody w rejonie występowania wód podziemnych

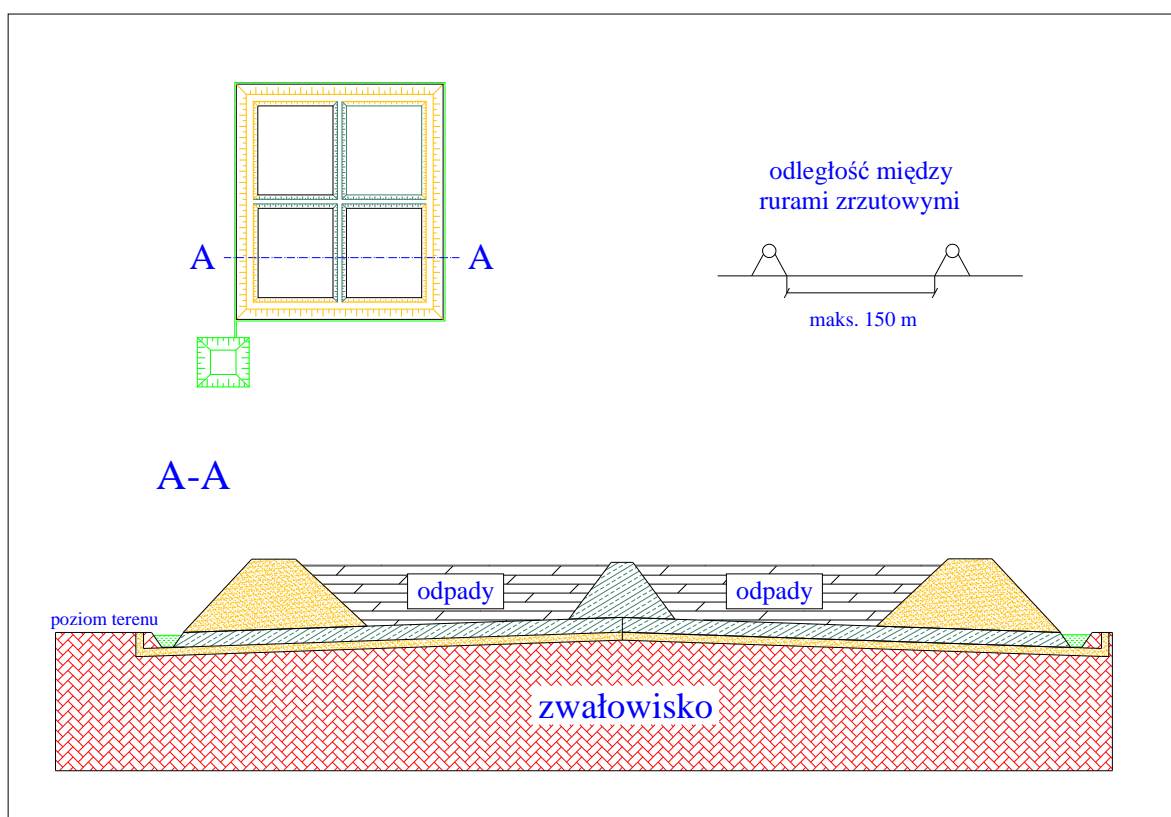
Składowanie odpadów paleniskowych metodą hydrauliczną – zmodyfikowana poniżej poziomu zwierciadła wód podziemnych jest uwarunkowane możliwością związania zdeponowanego materiału lub zastosowania pełnej izolacji składowanego materiału. W warunkach Elektrowni „Bełchatów” S.A. odpowiednie wykorzystanie istniejącej infrastruktury wykorzystywanej przy transporcie hydraulicznym umożliwi prawidłowe związanie odpadów paleniskowych zdeponowanych na składowisku. Warunek ten zostanie spełniony po realizacji ściśle określonych zasad składowania, związanych z następującymi zagadnieniami technologicznymi:

- ✓ ilością rur zrzutowych,
- ✓ geometrią poszczególnych zbiorników,
- ✓ odpowiednim zarządzaniem wód osadowych.

Związanie zdeponowanych materiałów nie nastąpi jeżeli zostaną one zdeponowane w dużym zbiorniku, tak jak ma to miejsce przy składowaniu hydraulicznym obecnie stosowanym. Składowisko zlokalizowane na zwałowisku wewnętrznym w wyrobisku Bełchatów składa się z trzech dużych zbiorników, w których będą lokowane odpady. Średnie wymiary zbiorników wynoszą 1200 na 600 metrów. Rozpływ mieszaniny odpadów i wody w tak dużym zbiorniku wywoła zjawisko segregacji, które uniemożliwi prawidłowe związanie całości zdeponowanych odpadów paleniskowych. Taki zbiornik powinien zostać podzielony na cztery komory o wymiarach 300 na 600. Rozmieszczenie rur zrzutowych po obu stronach komory co około 150 metrów zapobiegnie zjawisku segregacji i umożliwi związania zdeponowanego materiału. Spełnienie powyższych warunków rozwiąże kwestie związane z ilością rur zrzutowych oraz geometrią zbiorników. Natomiast dla pełnego związania składowanych odpadów należy omówić jeszcze jeden ważny element, którego prawidłowe funkcjonowanie ma bardzo istotny wpływ na kształtowanie własności deponowanych odpadów. Chodzi tu o poziom wód osadowych. Utrzymywanie wysokiego stanu wody umożliwia spłaszczenie stożków zrzutowych, zwiększenie zasięgu rozpływu składowanego materiału oraz jego pełne i prawidłowe wymieszanie. Utrzymanie wysokiego stanu wód osadowych można osiągnąć w nastę-

pujący sposób – dno zbiornika powinno zostać utworzone z gruntów nieprzepuszczalnych, by zapobiec infiltracji wody poniżej poziomu zbiornika, czego efektem było by zanieczyszczenie wód podziemnych oraz brak możliwości ponownego jej wykorzystanie w hydrobiegu, natomiast obwałowania zbiornika powinny zostać utworzone z gruntów przepuszczalnych. Taka budowa umożliwi im drenaż wód znajdujących się wewnątrz zbiornika do rowów opaskowych umieszczonych wokół zbiorników, którymi woda będzie odprowadzana ponownie do hydrobiegu. Dodatkowo by zapewnić sprawniejszą migrację wód technologicznych dno zbiornika powinno być tak uformowane aby nastąpił spływ wód w określonym kierunku (dno nie może być poziome tylko powinno posiadać lekki spad). Projektowane składowiska (zlokalizowane na różnych poziomach zwałowiska wewnętrznego) powinny składać się z kilku zbiorników, w których znajduje się 4 komory napełnianych rotacyjnie (rys. 12.3).

Opisany sposób odprowadzania wód osadowych plus odpowiednia geometria zbiorników i liczba rur zrzutowych zapewni sprawne i prawidłowe funkcjonowanie składowisk odpadów paleniskowych, w których materiał jest deponowany metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną.



Rys. 12.3 Schemat zbiornika składowiska odpadów paleniskowych deponowanych metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną

6) Możliwość stosowania metody

Odpady zdeponowane metodą hydrauliczną - zmodyfikowaną na poziomach zwałowiska wewnętrznego w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów stanowią niskie zagrożenia dla wód podziemnych. Pod względem bezpieczeństwa środowiska wodnego nie ma przeciwwskazań do stosowania tej metody, zgodnie z klasyfikacją zawartą w rozporządzeniu M.O.Ś.Z.N. i L. z dnia 5.XI.1991r (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”).

Ograniczenie oddziaływania odpadów na środowisko wodne składowanych przy wykorzystaniu transportu hydraulicznego polegająca na ich związaniu na składowisku jest zagadnieniem obecnie nie stosowanym. Obecnie najczęściej stosowanym zabezpieczeniem wód podziemnych przed odpadami zdeponowanymi przy wykorzystaniu transportu hydraulicznego jest izolacja dna składowiska. Próba uzależnienia wielkości oddziaływań odpadów tak składowanych od ich właściwości fizycznych, a w szczególności właściwości filtracyjnych jest podejściem nowatorskim i dotychczas nie stosowanym.

Możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury, bez potrzeby jej modernizacji, brak niekorzystnego oddziaływania materiału w czasie jego transportu na środowisko naturalne oraz zdeponowanie odpadów w postaci związanej, czyli wytworzenie skonolidowanego „złoża” odpadów paleniskowych, a tym samym ograniczenie wpływu tak składowanych odpadów na środowisko wodne stawia metodę hydrauliczną - zmodyfikowaną jako jedną z najbardziej odpowiednich, z rozpatrywanych w pracy, do zastosowania w warunkach bełchatowskich.

Metoda mechaniczna

1) Opis metody

Technologia mechaniczna polega na przetransportowaniu odpadów paleniskowych do wyrobiska i zdeponowanie ich na zwałowisku wewnętrznym (rys. 12.4) po wcześniejszym wymieszaniu z nadkładem w proporcji maksymalnie 1:10 (popiół : nadkład). Do ich transportu wykorzystuje się system obudowanych przenośników taśmowych. Dla zmniejszenia szkodliwego wpływu transportowanych materiałów na środowisko, objawiającego się w postaci nadmiernego pylenia, odpady są nawilżane wodą z kondycjonerem w granulatorach przed zsypaniem na przenośniki taśmowe. W czasie transportu następuje dodatkowe zraszanie na wszystkich przesypach. Obecnie techno-

logią tą składa się popioły wychwytywane w pierwszej, drugiej i trzeciej strefie elektrofiltrów, a jej wykorzystanie jest możliwe po spełnieniu następujących warunków:

- ✓ popiół z nadkładem zwałowany jest przez trzy najwyżej pracujące zwałowarki na poziomach zwałowych III, IV i V,
- ✓ wierzchowina zwałowiska wewnętrznego budowana z mieszaniny popiołowo-nadkładowej będzie przykrywana 5 m warstwą nadkładu, warstwa zwałowiska o szerokości 50 m w rejonie skarp bocznych wystających ponad otaczający teren jest budowana wyłącznie z nadkładu.

Wykorzystanie tej metody w dalszej działalności Elektrowni „Bełchatów” wymaga przeanalizowania możliwości ograniczenia wpływu zdeponowanych odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym na środowisko wodne i tym samym rozszerzenia jej stosowalności na wszystkie poziomy zwałowiska wewnętrznego.

2) Wpływ na środowisko wodne zdeponowanych odpadów

Obecna metoda lokowania odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym, w której brak jest kontroli nad rodzajem skał pochodzących z nadkładu wykorzystanych do mieszania z odpadami, zastosowana poniżej zwierciadła wód podziemnych, po jego odbudowie może doprowadzić do nadmiernej emisji ładunków rozpuszczalnych z produktów spalania węgla brunatnego, czego efektem będzie migracja dużej ilości związków ze zwałowiska do wód podziemnych, wg niektórych autorów można spodziewać się dopływu wód o zawartości $\sim 2100 \text{ mg/dm}^3$ substancji rozpuszczalnych, w tym około 1200 mg/dm^3 siarczanów.

By zapobiec zwiększeniu zanieczyszczeń spowodowanego składowaniem odpadów na zwałowisku wewnętrznym w nie zmienionej formie, zostały wykonane badania, których celem było ograniczenie emisji odpadów zdeponowanych na zwałowisku. Badania te skupiły się na określeniu odpowiedniej proporcji masowej oraz doborze odpowiednich osadów wykorzystanych do mieszania z odpadami. Na podstawie wykonanych badań określono poziomy analizowanych związków jakie są ługowane przez wody zewnętrzne z odpadów paleniskowych składowanych różnymi proporcjami masowymi i gruntami nadkładowymi (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”). Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

- ✓ brak zależności liniowej pomiędzy wielkościami wypłukiwanych związków a ilością zdeponowanych odpadów paleniskowych,

- ✓ dla wszystkich rodzajów gruntów najniższa emisja ładunków Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} ze zdeponowanych odpadów paleniskowych do wód zewnętrznych obywa się dla stosunku masowego - **odpad : grunt - 1:10**,
- ✓ najodpowiedniejszym składnikiem mieszanin odpadowo-gruntowych deponowanych na zwałowisku wewnętrznym są ility, prognozowane ilości ładunków Ca^{+2} , Cl^- i SO_4^{-2} przedostających się do wód zewnętrznych z mieszaniny ility z odpadami w stosunku 10:1 wynoszą odpowiednio: $\text{Ca}^{+2} = 162 \text{ mg/dm}^3$, $\text{Cl}^- = 3,2 \text{ mg/dm}^3$ i $\text{SO}_4^{-2} = 185 \text{ mg/dm}^3$.

3) Zalety wynikające z zastosowania metody

Po zakończeniu eksploatacji w wyrobisku Bełchatów, zostanie ono poddane rekultywacji, która będzie polegać na wypełnieniu wodą zbiornika poeksploatacyjnego. Obecne przykłady wypełniania wodą zbiorników poeksploatacyjnych kopalń węgla brunatnego na świecie świadczą o możliwości zagrożenia jakości wód napływających do wyrobiska. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt występowania w utworach nadkładu łatwo utleniających się minerałów. W przypadku braku dostatecznej ilości utworów neutralizujących działanie kwasów zachodzi proces degradacji jakości wody przez ługowanie skał kwaśnymi wodami, skutkujące wzrostem stężeń wielu składników mineralnych w wodzie, w tym zwłaszcza metali ciężkich [34]. Jedną z metod przeciwdziałania szkodliwemu wpływowi kwasu jest dodanie do nadkładu produktów spalania węgla brunatnego, które pełnią rolę utworów neutralizujących kwasowość w skałach warstwy wodonośnej [7]. Dostarczenie produktów spalania węgla brunatnego, w sposób przemysłany, na zwałowisko wewnętrzne kopalni „Bełchatów” S.A. pozwoli w przyszłości uniknąć problemu potencjalnego zagrożenia jakości wód zlokalizowanych w wyrobisku końcowym, a deponowanie odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym powoduje dodatkowe jego wypływanie.

Stosowanie metody mechanicznej przy składowaniu odpadów paleniskowych pozwala wykorzystać, bez potrzeby prowadzenia jakichkolwiek prac modernizacyjnych, istniejącą infrastrukturę przemysłową do transportu odpadów z elektrowni na zwałowisko wewnętrzne zlokalizowane w wyrobisku „Bełchatów”.

4) Wady związane z zastosowaniem metody

W przypadku metody mechanicznej, tak samo jak w metodzie mechanicznej-zmodyfikowanej do transportu odpadów z elektrowni na składowisko wykorzystuje się

obudowane przenośniki taśmowe. Z takim modelem przesyłania odpadów związane jest z nadmiernym pyleniem transportowanego materiału. W przypadku omawianej metody, zastosowanie kondycjonowania odpadów oraz ich zraszanie wodą na wszystkich przesykach pozwala w pełni wyeliminować problem pylenia odpadów paleniskowych w czasie transportu.

Obecna metoda lokowania odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym, może powodować zanieczyszczenie wód podziemnych przepływających przez zwałowisko wewnętrzne. Przyjęcie rekultywacji wodnej, której efektem będzie utworzenie zbiornika wodnego w wyrobisku końcowym odkrywki Bełchatów, w takim przypadku może powodować znaczne obniżenie jakości wód dopływających do wyrobiska wyrażające się pogorszeniem stanu wód w zbiorniku i przypisanie ich do III klasy jakości wód.

5) Założenia umożliwiające stosowanie metody w rejonie występowania wód podziemnych

Stosowanie omawianej metody poniżej zwierciadła wód podziemnych jest związane z koniecznością ograniczenia wpływu zdeponowanych odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym, na środowisko wodne. Celem wykonanych prac było określenie procedur umożliwiających ograniczenie ilości związków chemicznych wypłukiwanych z odpadów paleniskowych. Badania skupiły się na ilości odpadów lokowanych na zwałowisku oraz rodzajem skał wykorzystywanych do mieszanin lokowanych na zwałowisku.

Najniższy ładunek analizowanych związków przedostaje się z fazy stałej do fazy wodnej dla **iłó**w przy stosunku masowym mieszaniny odpadów paleniskowych z gruntami **1:10**. Przydatność **iłó**w do składowania odpadów paleniskowych w metodzie mechanicznej wynika z ich małej wodoprzepuszczalności charakterystycznej dla gruntów ilastych. Zdeponowanie odpadów paleniskowych razem z **iłami** na zwałowisku wewnętrznym spowoduje konsolidację tych dwóch materiałów wywołaną ciężarem gruntów zlokalizowanych na wyższych poziomach. To zjawisko przyczyni się do ograniczenia dostępu infiltrującej wodzie podziemnej do zdeponowanych odpadów paleniskowych (rozdział 10 „Prognoza zanieczyszczeń...”).

Obecna technologia składowania odpadów na zwałowisku wewnętrznym umożliwia lokowanie popiołów tylko na trzech najwyższych poziomach zwałowych (III, IV i V). Ten sposób deponowania odpadów paleniskowych ma zapobiec kontaktowi pomiędzy odbudowującym się zwierciadłem wód podziemnych, a zazwałowanymi odpadami. Taki

system nie zabezpiecza popiołów przed działaniem wód opadowych infiltrujących poprzez zwałowisko. W celu określenia wielkości ładunków zanieczyszczeń przedostających się do wód podziemnych na wierzchowinie zwałowiska wykonano odwiert, w którym umieszczono dwa piezometry na głębokościach:

- ✓ 253 m – bezpośrednio pod zwałowiskiem wewnętrznym,
- ✓ 190 m – w korpusie zwałowiska wewnętrznego.

Z wykonanego odwiertu dwa razy w roku pobiera się wodę do określenia jej składu chemicznego oraz co miesiąc, wyznacza się poziom odbudowującego się zwierciadła wód gruntowych. Obecny poziom zwierciadła wód podziemnych znajduje się na głębokości około 160 m. Wyniki poziomu zwierciadła określonego dla piezometru na głębokości 190 metrów oraz zawartość składu chemicznego wypompowanej wody, świadczą o prawdopodobnym braku połączenia hydraulicznego warstwy wodonośnej, w której znajduje się filtr, z odbudowującym się zwierciadłem wód podziemnych, co czyni uzyskane dane nie przydatnymi w dalszej analizie. Dane uzyskane z drugiego filtra (pod zwałowiskiem) informują o obecnym poziomie zwierciadła wód podziemnych, a skład chemiczny analizowanej wody świadczy o pewnej migracji zanieczyszczeń ze zwałowiska wewnętrznego do środowiska wodnego. Analiza zmian składu chemicznego badanej wody została wykonana w oparciu o cztery parametry: pH, Ca⁺, Cl⁻ i SO₄⁻². Pierwsza analiza składu chemicznego została wykonana w grudniu 2000 roku. Uzyskano następujące wartości analizowanych parametrów: pH = 7,62; Ca⁺ = 52,7 mg/dm³; Cl⁻ = 7,9 mg/dm³; i SO₄⁻² = 28,3 mg/dm³. Ostatnie badania przeprowadzono w kwietniu 2004 roku i uzyskano: pH = 8,43; Ca⁺ = 33,6 mg/dm³; Cl⁻ = 11,3 mg/dm³; i SO₄⁻² = 92. W omawianym okresie nastąpiło zwiększenie zasadowości wody oraz wzrost stężeń siarczanów (około 3-krotnie) i chlorków (około 1,5-krotnie) natomiast nastąpił spadek zawartości wapnia (około 1,5-krotnie). **Dodatkowo w analizowanej wodzie nie stwierdzono obecności grupy OH.** Uzyskane wyniki świadczą o braku migracji zanieczyszczeń z odpadów paleniskowych zdeponowanych na zwałowisku do wód podziemnych. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest specyficzna struktura zwałowiska utworzona poprzez wymieszane grunty nadkładowe oraz nie wystarczająca ilość wód opadowych. Zaobserwowany wzrost stężeń części analizowanych parametrów wynika z rozkładu łatwo utleniających się minerałów zawartych w zazwałowanych gruntach nadkładu.

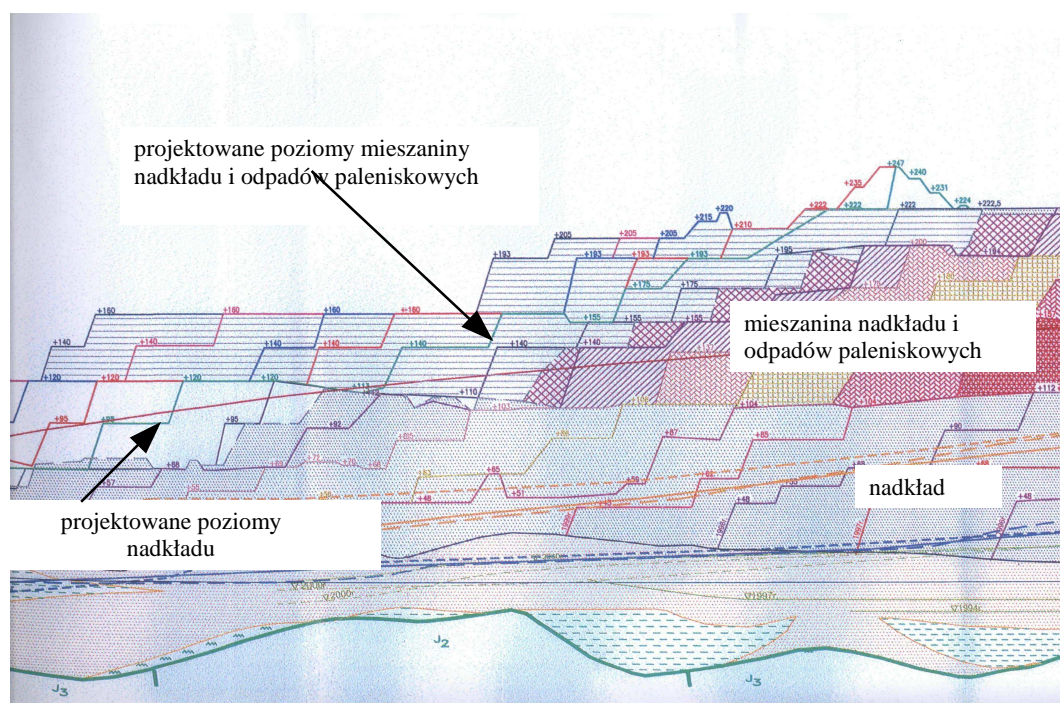
6) Możliwość stosowania metody

Specyfika deponowania odpadów paleniskowych razem z nadkładem na zwałowisku wewnętrznym wynikająca z emisji ładunków rozpuszczalnych odpadów paleniskowych do wód zewnętrznych powoduje ograniczenie ilości produktów spalania węgla brunatnego możliwych do zdeponowania w ten sposób. Wypracowane nowe procedury składowania odpadów paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym umożliwiają deponowanie tych materiałów poniżej zwierciadła wód podziemnych oraz pozwalają zwiększyć ilość lokowanych produktów spalania węgla brunatnego w mieszaninie gruntowo-odpadowej. Pomimo wykonanych prac zwiększających możliwość wykorzystania metody mechanicznej do składowania odpadów paleniskowych, poprzez lokowanie odpadów na całej wysokości zwałowiska wewnętrznego, jej użycie jest ograniczone rodzajem skał wykorzystywanych jako element mieszaniny. Ilość zdeponowanych odpadów jest proporcjonalna do ilości zwałowanych iłłów. Zgodnie z danymi uzyskanymi w wyniku prac geologicznych wykonanych przez służby kopalniane, można oszacować ilość utworów ilastych składowanych na zwałowisku wewnętrznym na około 20 % deponowanych utworów nadkładowych. Przy założeniu składowania około 4,0 mln ton odpadów paleniskowych oraz około 100 mln m³ nadkładu rocznie, uzyskana ilość utworów ilastych wynosi około 20 mln m³. Taka ilość osadów ilastych jest wystarczająca do bezpiecznego zdeponowania części odpadów paleniskowych na poziomach zwałowiska wewnętrznego znajdujących się pod powierzchnią odbudowanego zwierciadła wód podziemnych. Dokładna ilość odpadów paleniskowych składowana w tej części zwałowiska wewnętrznego jest uzależniona od wymogów technologicznych zwałowania nadkładu, ale nie powinna przekroczyć 50% masy składowanych odpadów paleniskowych.

Na ograniczenie możliwości składowania odpadów tą metodą wpływają także czynniki związane z technologią transportu mechanicznego. Wystąpienie niekorzystnych warunków atmosferycznych (temperatura poniżej -30°C) powoduje zatrzymanie przesyłania nadkładu systemem przenośników i tym samym wstrzymanie całego procesu składowania odpadów paleniskowych. Wymienione czynniki powodują zaklasyfikowanie technologii mechanicznej składowania odpadów paleniskowych jako metody pomocniczej występującej wspólnie z główną technologią składowania odpadów, jaką może być: metoda suspensji, mechaniczna - zmodyfikowana lub metoda hydrauliczna - zmodyfikowana.

Dodatkowo, w chwili obecnej prowadzone są prace w organach Wspólnoty Europejskiej nad dyrektywą w sprawie odpadów pochodzących z przemysłu wydobywczego,

która jeśli zostanie przyjęta będzie pierwszą środowiskową dyrektywą bezpośrednio skierowaną do branży górniczej. Przyjęcie tej dyrektywy, która swym zakresem obejmować będzie prawdopodobnie również nadkład z kopalni węgla brunatnego będzie skutkowało zmianą obecnie obowiązujących norm. Składowanie odpadów paleniskowych razem z nadkładem, wg projektowanej dyrektywy, może spowodować przekwalifikowanie nadkładu z odpadów przemysłowych nie niebezpiecznych (obecny status prawny), na odpady przemysłowe uciążliwe. Taka procedura prawna może doprowadzić do zwiększenia opłat za możliwość deponowania odpadów paleniskowych na poziomach zwałowiska wewnętrznego, co w efekcie może spowodować nieopłacalność tej metody.



Rys. 12.4 Składowanie odpadów paleniskowych metodą mechaniczną na zwałowisku wewnętrznym

13. Podsumowanie

Trudności związane z bezpiecznym sposobem utylizacji odpadów paleniskowych zmuszają przedsiębiorstwa energetyczne do szukania nowych sposobów i miejsc deponowania tych materiałów. Zlokalizowanie składowisk w czynnym wyrobisku kopalni odkrywkowej jest nowym sposobem utylizacji odpadów. Metody zastosowane w takich warunkach muszą uwzględniać specyficzne lokalizacje składowisk. Badania literaturowe i analiza bazy technicznej Kopalni i Elektrowni „Bełchatów” S.A. pozwoliły wyselekcjonować autorowi cztery sposoby składowania odpadów:

- ✓ suspensji,
- ✓ mechaniczny – zmodyfikowany,
- ✓ hydrauliczny – zmodyfikowany,
- ✓ mechaniczny.

W przypadku EI. Bełchatów decydujący wpływ na wybór metod będzie miał rodzaj transportu stosowany w poszczególnych technologiach. W przypadku metod mechanicznej – zmodyfikowanej, hydraulicznej – zmodyfikowanej oraz mechanicznej wykorzystać można transport obecnie stosowany w działalności Elektrowni „Bełchatów” S.A. Metody te mają ponadto wspólną cechę, są obecnie wykorzystywane przy składowaniu odpadów paleniskowych lub są modyfikacją istniejących metod opracowaną przez autora. Fakt ten wiąże się z istotnym ułatwieniem wynikającymi z możliwości wykorzystania istniejącej infrastruktury.

W przypadku metody hydraulicznej – zmodyfikowanej następuje pełne wykorzystanie istniejącej infrastruktury. Ograniczenie wpływu składowanych odpadów na środowisko wodne przez zdeponowanie odpadów w postaci związanej (dzięki modyfikacji sposobu deponowania odpadów w zbiorniku opracowanej przez autora) stawia metodę hydrauliczną – zmodyfikowaną jako jedną z najbardziej odpowiednich (z rozważanych w pracy) do zastosowania w warunkach bełchatowskich pod względem oddziaływania na środowisko wodne i kosztów związanych z jej uruchomieniem.

Sytuacja w przypadku metody mechanicznej – zmodyfikowanej jest nieco odmienna. W tej technologii wykorzystuje się obecnie stosowaną infrastrukturę transportową do przesyłania odpadów z elektrowni na zwałowisko wewnętrzne, natomiast w celu rozproszczenia odpadów do przygotowanych składowisk konieczne jest wybudowanie dodatkowej infrastruktury, czyli zakładu wytwarzania suspensji, stacji pomp zlokalizowanych przy składowiskach, system rurociągów rozprowadzających utworzoną miesza-

ninę oraz dodatkowo przebudować system przekazywania odpadów z bloków elektrowni do zakładu przesyłania odpadów na składowiska. Procedury składowania odpadów tą metodą opracowane przez autora doprowadzą do związania zdeponowanych odpadów paleniskowych (zapropozowane rozwiązanie jest podejściem nowatorskim dotychczas nie stosowanym w elektrowniach opalanych węglem brunatnym), lecz wiąże się to z kosztami dostosowania i budowy potrzebnej infrastruktury.

Zastosowanie metody mechanicznej jest związane ze zmianą procedury mieszania składowanych odpadów z gruntami nadkładu. W tym przypadku nie następuje zmiana transportu i sposobu składowania materiału. W celu ograniczenia emisji wylukiwanych związków z odpadów paleniskowych zdeponowanych na zwałowisku wewnętrznym należy zastosować odpowiedni składnik mieszaniny odpadowo – gruntowej. Rodzajem nakładu ograniczającym oddziaływanie zdeponowanych odpadów może być ił. Dla takiego składu mieszaniny uzyskujemy poziom zanieczyszczeń migrujących do wód podziemnych, nie stanowiący zagrożenia dla środowiska wodnego wg klasyfikacji wód podziemnych dla potrzeb monitoringu. Ilość zdeponowanych odpadów tą metodą powinna być proporcjonalna do ilości zwałowanych iłów. Zgodnie z danymi uzyskanymi w wyniku prac geologicznych wykonanymi przez służby kopalniane, można oszacować ilość utworów ilastych składowanych na zwałowisku wewnętrznym na około 20% zdeponowanych utworów nadkładowych. W zależności od zastosowanych proporcji masowych mieszaniny gruntów i odpadów (wg prac autora 10:1) można określić ilość odpadów paleniskowych jaką będzie można zdeponować na zwałowisku wewnętrznym. Wadą metody mechanicznej jest wrażliwość tej technologii na niekorzystne warunki atmosferyczne (temperatura poniżej -30°C), w których następuje wstrzymanie przesyłania nadkładu, a tym samym wstrzymanie składowania odpadów paleniskowych. Cecha ta powoduje zaklasyfikowanie technologii mechanicznej składowania odpadów paleniskowych jako metody pomocniczej mogącej występować wspólnie z główną technologią składowania odpadów, jaką może być: metoda suspensji, metoda mechaniczno – zmodyfikowana lub metoda hydrauliczna – zmodyfikowana.

W przypadku metody suspensji występuje odmienna sytuacja niż w technologiach wcześniej omawianych. Jest to metoda nowa, która dotychczas nie była stosowana przy składowaniu odpadów paleniskowych związanych z Elektrownią Bełchatów. Wszystkie procedury składowania odpadów w tym przypadku zostały opracowane przez autora i pozwalają zastosować ją do bezpiecznego składowania odpadów paleniskowych na składowiskach zlokalizowanych w wyrobisku Bełchatów. Zastosowanie tej nowej meto-

dy do składowania odpadów pochodzących z istniejących bloków Elektrowni „Bełchatów” S.A. jest związane w wysokimi kosztami budowy systemu transportu tych materiałów z elektrowni na składowisko. Natomiast, **metoda suspensji powinna być uwzględniona, przy rozważaniach związanych z technologią odprowadzania odpadów paleniskowych projektowaną dla nowego bloku Elektrowni „Bełchatów” S.A.**, w którym będzie spalany węgiel głównie z odkrywki Szczerców. Zastosowanie tej technologii w tym bloku wiąże się z korzyściami w zakresie ochrony środowiska oraz znaczną oszczędnością kosztów składowania w stosunku do innych analizowanych metod.

W pracy umieszczono także prezentację metodyki przeprowadzonych badań przez autora oraz charakterystykę uzyskanych wyników, które zostały przedstawione w tabeli nr 12.2. Na podstawie wykonanych badań określono między innymi czas wiązania odpadów paleniskowych dla metod suspensji i mechaniczno – zmodyfikowanej, który jest wystarczająco długi by umożliwić bezpieczne deponowanie odpadów paleniskowych tymi metodami. Otrzymane wyniki wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie związanych materiałów zdeponowanych metodami suspensji, mechaniczno – zmodyfikowanej i hydraulicznej – zmodyfikowanej są wystarczające, pod względem wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, by wykorzystać te technologie do składowania odpadów paleniskowych w rejonie występowania wód podziemnych. Ulokowanie związanych odpadów paleniskowych w środowisku wodnym nie powoduje obniżenia ich wytrzymałości jednoosiowej, a w oparciu o klasyfikacje charakteryzującą grunty i skały można zaklasyfikować związane odpady paleniskowe do grupy utworów nieprzepuszczalnych (klasyfikacja utworzona przez Z. Pazdro).

Wpływ obecnie stosowanych metod składowania odpadów paleniskowych w Elektrowni Bełchatów S.A. na wody podziemnych określono poprzez analizę pomiarów terenowych monitoringu składowiska Bagno-Lubień i wód odwadniających Kopalni Bełchatów.

W celu uzyskania pełnej odpowiedzi na problemy zawarte w pracy dodatkowo wykonano prognozę przy wykorzystaniu modelowania geochemicznego, dotyczącego równowagi termodynamicznej układu woda – fazy mineralne. Wykonane modelowanie hydrogeochemiczne polegało na wyznaczeniu ilości analizowanych związków chemicznych przedostających się ze związanych odpadów paleniskowych do wód zewnętrznych.

Dodatkowo, występująca aktywność sejsmiczna w rejonie odkrywki Bełchatów zmusza do opisanie wpływu oddziaływań dynamicznych wywołanych wstrząsami sejsmicznymi na zwałowisko wewnętrzne oraz umieszczone tam składowiska odpadów paleniskowych. Specyficzne warunki geotechniczne (powstają nowe grunty w wyniku mieszania różnych rodzajów utworów nakładowych) panujące na zwałowisku powodują dużą podatność takiego obiektu, na wszelkie oddziaływania dynamiczne. Autor w oparciu o specjalistyczną literaturę [1,6,24,41] przeanalizował prawdopodobne oddziaływania wywołane aktywnością sejsmiczną na zdeponowane odpady. W oparciu o uzyskane dane można stwierdzić, że wywołane oddziaływania dynamiczne będą niższe niż uzyskane wytrzymałości związanych odpadów paleniskowych, dlatego nie będą stanowiły zagrożenia dla stateczności omawianych składowisk.

Oprócz wpływu analizowanych metod na stan środowiska wodnego, ważne są także zmiany technologiczne i prawne, wywołane wdrożeniem rozpatrywanych technologii do działalności Elektrowni „Bełchatów” S.A.

Planowana eksploatacja zbiorników budowanych na wierzchowinie zwałowiska wewnętrznego, przy zastosowaniu tradycyjnej metody hydraulicznej zakończy się w około 2016 roku. W tym okresie na składowisku deponowane będą wszystkie odpady uzyskane ze spalania węgla brunatnego z odkrywki Bełchatów oraz odpady uzyskane z węgla brunatnego z odkrywki Szczerców z lat 2008-2016. W chwili obecnej nie ustalono ostatecznie strategii składowania pozostałych odpadów paleniskowych uzyskanych do roku 2032.

Zastosowanie metod hydraulicznej – zmodyfikowanej oraz suspensji pozwoli wydłużyć czas eksploatacji projektowanych zbiorników na odpady paleniskowe znajdujące się na wierzchowinie zwałowiska wewnętrznego. Proces wiązania zdeponowanych odpadów paleniskowych powoduje zwiększenie ich gęstości objętościowej, w stosunku do odpadów zdeponowanych metodą hydrauliczną. W przypadku metody hydraulicznej – zmodyfikowanej następuje zwiększenie gęstości objętościowej o 60%, a w metodzie suspensji o 113%. Wykorzystanie metody hydraulicznej – zmodyfikowanej, zamiast planowanej metody hydraulicznej, do składowania odpadów paleniskowych uzyskanych z istniejących bloków Elektrowni „Bełchatów” S.A., na składowisku zlokalizowanym na wierzchowinie zwałowiska wewnętrznego umożliwi zdeponowanie tam wszystkich odpadów powstałych ze spalania węgla brunatnego w tych blokach z okresu 2005-2032. Odpady z nowo projektowanego bloku tej elektrowni (w ilości około 20% masy uzyskanych odpadów) powinny być zdeponowane w innym składowisku. Przy wykorzystaniu

technologii suspensji do składowania tych odpadów pojemność takiego składowiska powinna wynosić około 16 mln m³ (dla metody hydraulicznej pojemność musiała by wynosić około 34 mln m³).

W tabeli poniżej zostały zestawione ilości odpadów paleniskowych dla poszczególnych metod składowania.

Tabela 13.1 Zestawione ilości odpadów paleniskowych z Elektrowni „Bełchatów” S.A. w okresie 2005-2032 dla poszczególnych metod składowania

Pochodzenie odpadów	Metoda hydrauliczna		Metoda hydrauliczna – zmodyfikowana		Metoda suspensji /mechaniczna- zmodyfikowana	
	odpady		odpady		odpady	
	mln. Mg	mln. m ³	mln. Mg	mln. m ³	mln. Mg	mln. m ³
istniejące bloki	100	169	79*	84	-	-
projektowany blok	20	34	-	-	20	16

* w 2005 rozpocznie się eksploatacja pierwszego ze zbiorników znajdującego się na wierzchowinie zwałowiska wewnętrznego, dlatego metodę hydrauliczną – zmodyfikowaną można wykorzystać dopiero po jego wypełnieniu w pozostałych dwóch zbiornikach

W przypadku metody mechanicznej prawdopodobnie nastąpi zmiana zasad prawnych dotyczących sposobu składowania odpadów tą metodą. W organach Wspólnoty Europejskiej prowadzone są prace nad dyrektywą w sprawie odpadów pochodzących z przemysłu wydobywczego. Składowanie odpadów paleniskowych razem z nadkładem, wg projektowanej dyrektywy, spowoduje przekwalifikowanie nadkładu z odpadów przemysłowych nie niebezpiecznych (obecny status prawny), na odpady przemysłowe uciążliwe. Wprowadzenie takiej procedury prawnej może doprowadzić do zwiększenia opłat za deponowania odpadów paleniskowych na poziomach zwałowiska wewnętrznego, co może spowodować nieopłacalność tej metody i potrzebę dalszych analiz nad innymi metodami składowania odpadów paleniskowych.

Tabela 13.2 Zestawienie wyników badań autora dla różnych metod składowania odpadów paleniskowych oraz innych analiz oddziaływania zdeponowanych odpadów na środowisko wodne

Metoda składowania/ dodatkiowe analizy	Gęstość objętościowa [g/cm ³]	Czas wiązania [h]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po sezonowaniu w wodzie [MPa]	Współczynnik filtracji [m/s]	Wyniki badań odcieków wodnych mg/dm ³			Klasa wody wg rozporządzenia M.O.Ś.Z.N i L. z dnia 5.XI.1991r dla prób rozdrobnionych	
						Ca ²⁺ mg/dm ³	Cl ⁻ mg/dm ³	SO ₄ ⁻² mg/dm ³		Klasa wody wg rozporządzenia M.O.Ś.Z.N i L. z dnia 5.XI.1991r dla prób związanych/ dodatkiowe analizy
suspensji	1,26	73	4,1	4,3	5,49 10 ⁻⁹	97	1,8	8,8	Ib	Ib
mechaniczna- zmodyfikowana	1,31	78	5,7	5,3	4,78 10 ⁻⁹	58	0,9	9,7	Ib	Ib
hydrauliczna - zmodyfikowana	0,94	-	0,4	0,4	6,23 10 ⁻⁸	163	0,35	8,2	Ib	Ib
mechaniczna	0,45	-	-	-	0,20 10 ⁻⁶	162	3,2	185	Ib	Ib
monitoring składowiska Lubień	-	-	-	-	-	200	156	423	II	-
badania laboratoryjne luźnych odpadów	1,2	-	-	-	1,2 10 ⁻⁶	620	8,6	968	III	-

14. Wnioski

W oparciu o wszystkie zebrane dane można sformułować następujące wnioski.

- ✓ Wykonane badania wykazały, że intensywność oddziaływania odpadów na środowisko wodne jest uzależniona od ich postaci zdeponowania na składowisku, związanie odpadów pozwala zmniejszyć ich oddziaływanie do poziomu nie szkodliwego dla środowiska wodnego.

- ✓ Analiza literaturowa oraz badania własne autora wykazały, że decydujący wpływ na proces mineralizacji wód zewnętrznych migrujących przez odpady paleniskowe odgrywają jony Ca^{+2} i SO_4^{-2} , natomiast największe zagrożenie dla środowiska wodnego stanowią siarczany i chlorki.

- ✓ W pracy wykazano w oparciu o dane dotyczące płytkich wód podziemnych z rejonu składowiska Bagno-Lubień znaczne pogorszenie ich jakości w stosunku do tła z 1981 roku.

- ✓ Porównanie wyników badań laboratoryjnych z pomiarami terenowymi jakości wód podziemnych wykazuje zmniejszenie ilości analizowanych związków chemicznych wypłukiwanych z odpadów związanych w stosunku do luźnych.

- ✓ Wykonane badania wykazały, że proces wiązania zdeponowanych odpadów paleniskowych powoduje zwiększenie ich gęstości (w zależności od metody od 60 do 120%), w stosunku do odpadów zdeponowanych metodą stosowaną w Elektrowni Bełchatów.

- ✓ Porównanie proponowanych w pracy sposobów składowania odpadów wykazało, że we wszystkich rozważanych sposobach nastąpiło zmniejszenie oddziaływania zdeponowanych odpadów na środowisko wodne w stosunku do sposobu składowania stosowanego w Elektrowni Bełchatów.

- ✓ Z przeprowadzonych badań wynika że, najbardziej odpowiednim sposobem depowania odpadów z Elektrowni Bełchatów S.A z rozważanych w pracy jest sposób wykorzystujący transport hydrauliczny o stosunku masowym odpadów do wody 1:10 i doprowadzeniu ich do związania.
- ✓ Projektowany sposób składowania odpadów w nowym bloku Elektrowni Bełchatów S.A. powinien umożliwić utworzenie na składowisku zaczynu odpadowego.

15. Literatura

- 1) Bauer J., Fabich S., Jaśkiewicz K., Grzebyk W., Stolecki L. „Ocena rozwiązań technicznych polegających na głębieniu szybu R-XI w osłonie płaszcza mroźniowego pod kątem jego odporności na wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu, wywołane robotami eksploatacyjnymi w obszarze górniczym Rudna” CBPM Cuprum 2002 r.
- 2) Blechert B., Łączny J. M., „Ocena oddziaływania emulgatu popiołowo-wodnego na środowisko naturalne w rejonie jego składowania na drodze badań terenowych”, Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział Katowice 1984.
- 3) Blechert B., Łączny J. M., „Wyznaczanie jakości wód odpływających ze składowisk przemysłowych”, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria „Automatyka” 1985.
- 4) Chudek M., Hycnar J., Janiczek S., Plewa F., „Węgiel brunatny – utylizacja surowców towarzyszących i odpadów elektrownianych.” Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999 r.
- 5) Dodatek nr 1 do Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej Złoża Węgla Brunatnego „Bełchatów – pole Bełchatów” w kat. C₁+B, Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, Wrocław 06.1989 r.
- 6) Dubiński J. i inni, „Określenie warunków bezpiecznego składowania popiołów i żużli paleniskowych na zwałowisku wewnętrznym w aspekcie zagrożeń sejsmicznych” GIG Katowice 1995 r.
- 7) Filippoto W., „Celowość stosowania popiołów lotnych w świetle deficytu materiałów wiążących”, Drogownictwo nr 2/1972.
- 8) Giergiczny E. i inni „Właściwości materiałów wiążących zawierających popiół lotny ze palania węgla brunatnego”, Cement Wapno Gips nr 11/1988 r.
- 9) Giergiczny Z. i Michniewicz E. „Badanie procesów zestalania zaczynów z popiołów bełchatowskich”, Górnictwo Odkrywkowe nr 1/1991 r.
- 10) Giergiczny Z., Michniewicz E., „Możliwość polepszenia charakterystyki wytrzymałościowej zestalonych zaczynów popiołowych z Elektrowni Turów.” Górnictwo Odkrywkowe nr 5/6 1990.
- 11) Giergiczny Z., Weryńska A., „Wpływ rozdrobnienia popiołu lotnego z węgla brunatnego na własności wytrzymałościowe spoin cementowo-popiołowych”,

XXXIII Konf. Nauk. Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB Gliwice 1987.

- 12) GIG Katowice, „Analiza skutków ewentualnej awarii zbiornika popiołowego na centralnym zwałowisku PMP-PW w Przechlebiu”, 1984.
- 13) Gonczarowa Ł., Baranowa W. I., „Badanie aktywizacji procesów tworzenia się nowej struktury przy wzmacnianiu gruntów popiołami lotnymi” Biuletyn Geologiczny, tom 24/1981.
- 14) Góra E., „Wpływ popiołów z węgla kamiennego na plonowanie roślin”, Rozprawa habilitacyjna Nr 101, Akademia Rolnicza Kraków 1986.
- 15) Greszta J., Morawski S., „Zagospodarowanie popiołów do renowacji środowiska naturalnego”, Polska Akademia Nauk – Oddział w Krakowie, Wyd. Ossolineum nr 325/1980.
- 16) Grischek H., Rotschky G., Bilitewski B., „Effects of lignite ashes on buffering and metal emission of flooded MSW Landfills“, University of Technology, Dresden 2001.
- 17) Habiniak S., Marczuk K., „Wstępne badania nad wpływem aktywatorów na wytrzymałość bezcementowych spoiw z popiołów lotnych.” Cement Wapno Gips nr 7-8/1972.
- 18) Harnwolf-Wilczyńska A., „Analiza metod określania miążkości popiołów lotnych”, Drogownictwo nr 1/1976.
- 19) Hycnar „Możliwość zagospodarowania popiołów lotnych i żużli z elektrowni jako surowców mineralnych”, Energetyka nr 9/1984 r.
- 20) Hycnar J., „Składowanie odpadów z elektrowni”, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 4/1985.
- 21) Hycnar J.J. „Właściwości fizykochemiczne suspensji popiołowo-wodnych”, Energetyka nr 1/1995 r.
- 22) Jachowicz R., „Ekologicznie czysta metoda składowania odpadów energetycznych w postaci suspensji popiołowo-wodnej”, Sympozjum – Nowa metoda składowania odpadów, Energoprojekt Katowice 1992.
- 23) Jaririge A, „Les Cendres volantes Editions Eyrolles”, Paris 1991 r.
- 24) Jaśkiewicz K., Stolecki L. „Prognoza czasoprzestrzenna aktywności sejsmicznej oraz wpływów parasejsmicznych w rejonie składowiska Żelazny Most” CBPM Cuprum 2001.

- 25) Jędrzejczyk M., „Brunatny nad kreską”, Biuletyn Górniczy GIPH nr 2/1977 – dodatek 3,
- 26) Jończyk I., Motyka J., Polak K., „Zmiany stosunków wodnych w rejonie zwałowiska zewnętrznego KWB Bełchatów”, Współczesne problemy Hydrogeologii, Wrocław 2001,
- 27) Kalin R.M. „Basic concepts and formulations for isotope geochemical modelling of groundwater systems”, Manual on mathematical models in isotope hydrogeology, IAEA, Oktober 1996 r.,
- 28) Kasza L. i zespół, „Prace dla określenia założeń do projektu transportu i składowania stałych produktów spalania i odsiarczania węgla Elektrowni Turów”, Biuro Ekspertyz Geologicznych, Wrocław 1992.
- 29) „Kierunki wykorzystania popiołów lotnych z węgla brunatnych”, Instytut techniki budowlanej. Warszawa 1964 r.
- 30) Kompleksowa Dokumentacja Geologiczna Złoże Węgla Brunatnego „Bełchatów – pole Bełchatów” w kat. C₁+B, Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu, Wrocław 06.1983 r.
- 31) Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów” Spółka Akcyjna,
<http://www.giph.com.pl/firmy/belchatow.html>
- 32) Kozłowski Z., praca zbiorowa „Węgiel brunatny w polskiej energetyce – stan obecny i perspektywa” Referat wprowadzający na zebranie plenarne Komitetu Górnictwa Polskiej Akademii Nauk. KWB Bełchatów S.A. 22.11.2001 r.
- 33) Kozłowski Z., praca zbiorowa „Strategia rozwoju sektora górnictwa węgla Brunatnego w aspekcie polityki energetycznej Polski do roku 2025”, Agencja Rynku Energii, Wrocław 2004,
- 34) Kuhn A. „Chemia koloidów”, PWN, Warszawa 1957
- 35) Łączny J. M. i zespół, „Ocena wpływu na środowisko składowiska odpadów elektrownianych Elektrowni Opole w wyrobisku „Groszowice” Politechnika Częstochowska, 1992.
- 36) Łączny J. M., Włodarczyk-Makuła M., „Ocena parametrów spływu powierzchniowego ze składowiska popiołów lotnych formowanego metodą emulgatu”, Energetyka nr 7/1994,
- 37) Łączny M.J. „Funkcja emisji zanieczyszczeń ze składowisk popiołów lotnych do wód podziemnych”, Archiwum Ochrony Środowiska nr 1-2 1990 r.

- 38) Łączny M.J., „Model emisji zanieczyszczeń ze składowisk odpadów energetycznych do wód podziemnych”, Wyd. IKŚ, Katowice 1983.
- 39) Łączny M.J., Wita E., Rzychoń D., „Próba określenia obszaru wymywania jonów wapniowego i siarczanowego z popiołów lotnych w wodzie”, Arch. Ochrony Środowiska, nr 1-2, 1990.,
- 40) Małecki J.J., „Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych”, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego nr 381, Warszawa 1998,
- 41) Maciąg E., „Charakterystyki ruchu podłoża wykorzystywane w inżynierii antysejsmicznej”, symposium „Wpływy sejsmiczne na budowle” Politechnika Krakowska 1983 r.
- 42) Macioszczyk A., Dobrzyński D., „Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002 r.
- 43) Macioszczyk A., Witczak S. L., „Współczesne problemy hydrogeochemii”, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego nr 388, Warszawa 1999,
- 44) Marcinkowski S., Dondalewski H., „Popioły lotne z węgla brunatnego”, Materiały budowlane nr 6/1980.
- 45) Matusiewicz H. i Janowicki K. "Fizykochemiczna charakterystyka popiołów lotnych węgla brunatnych Elektrowni Konin z III stopnia elektrofiltrów i badania nad ich ługowaniem", Arch. Ochrony Środowiska nr 3-4 1983 r.
- 46) Michniewicz E. „Wykorzystanie popiołów paleniskowych do wzmacniania powierzchni poziomów roboczych w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego”, praca doktorska, Politechnika Wrocławska 1973 rok.
- 47) Michniewicz E. Nowak J., Wójcik J., „Badanie własności wiążących popiołów z Elektrowni Bełchatów”, Poltegor Wrocław 1985.
- 48) Michniewicz E., „Prognoza ilości i jakości popiołów z Bełchatowa w zależności od miejsca ich poboru pod elektrofiltrem”, Górnictwo Odkrywkowe, nr 9/10 – 1976.
- 49) Michniewicz E., „Próby wzmacniania powierzchni poziomu roboczego popiołami z elektrowni Adamów.”, Górnictwo Odkrywkowe nr 4/1971.
- 50) Michniewicz E., „Przewidywane ilości i jakości popiołów z projektowanych elektrowni w Bełchatowie”, Górnictwo Odkrywkowe, nr 5-6/1976.

- 51) Michniewicz E., Mużyło H., „Możliwość użycia aktywowanych popiołów lotnych z Elektrowni Konin do stabilizacji gruntów w odkrywce Pałnów.” *Górnictwo Odkrywkowe* nr 1/1969.
- 52) Michniewicz E., Nowak J., „Niektóre aspekty zagęszczania próbek w badaniach popiołów bełchatowskich”, *Górnictwo Odkrywkowe*, nr 3/1987.
- 53) Mikołajczyk B., Basista A., „Przykłady wykorzystania odpadów elektrownianych w profilaktyce górniczej”, *Wiadomości Górnicze*, nr 9/1985.
- 54) Motyka J. i inni, „Wstępna charakterystyka zmian stosunków wodnych w obszarze wypełniania się leja depresji KWB „Bełchatów”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* nr 246, Gliwice 2000 r.,
- 55) Mużyło H., Habiniak S., „Sposób wytwarzania spoiw bezcementowych z popiołów lotnych.” *Cement Wapno Gips* nr 11/1972.
- 56) Nadarkiewicz Z., Michniewicz E., Ukleja K., „Perspektywy zagospodarowania popiołów lotnych z węgla brunatnego.” *Górnictwo Odkrywkowe* nr 3/1971.
- 57) Norma branżowa BN-79/6722-09
- 58) Nowak J. „Prognoza rozkładu własności geotechnicznych popiołów z Elektrowni Bełchatów w projektowanym składowisku” *Politechnika Wrocławska* 2000 r.
- 59) Nowak J., Grabiński A., „Wytworzenie preparatów kondycjonujących oraz przeprowadzenie prób kondycjonowania popiołu lotnego w warunkach istniejącej infrastruktury elektrowni Bełchatów”, *Ekovital*, Wrocław 1996.
- 60) Osiecka E., „Pucolanowość. Przegląd metod badania aktywności pucolanowej materiałów”, *Cement, Wapno i Gips*, nr 6/1983.
- 61) Pachowski J., „Popioły lotne, ich zastosowanie w budownictwie drogowym.” *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*, Warszawa 1973/74.
- 62) Peukert J. i Thiel A. „Wykorzystanie popiołu lotnego z węgla brunatnego Bełchatów. Cz. I. Popiół jako aktywny dodatek do cementu”, *Cement Wapno Gips* nr 11-12/1985 r.
- 63) Peukert J., Thiel A. i Kania J. „Wykorzystanie popiołu lotnego z węgla brunatnego Bełchatów. Cz. II. Popiół jako surowiec „niski” do produkcji klinkieru portlandzkiego”, *Cement Wapno Gips* nr 1/1986 r.
- 64) Polak K., „Zagrożenia jakości wód w zbiornikach poeksploatacyjnych kopalń węgla brunatnego”, *Szkoła Mechaniki Górniczej*, Bełchatów 2004.
- 65) Polska Norma PN-93-G-11010 – „Materiały do podsadzki hydraulicznej” – Warszawa wrzesień 1993 r.

- 66) Polska Norma PN-98-G-11011 – „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów”, Warszawa sierpień 1998 r.
- 67) Poltegor Wrocław, „Koncepcja hydrozwałowania odpadów z Elektrowni Rybnik na zwałowisku Przezchlebie”, nr archiw. 29182, 1981.
- 68) Praca zbiorowa pod redakcją Jerzego Pileckiego – „Bełchatów wykorzystana szansa”, Zarys monograficzny i bibliografia KWB Bełchatów 1960 – 1984. Tom I, Poltegor Wrocław 1986.
- 69) Rokita J., Tomaszewski S., „Transport i składowanie elektrownianych odpadów paleniskowych w postaci zawiesiny wodnej o dużej koncentracji fazy stałej”, Energetyka nr 11/1985.
- 70) Siejko J. „Możliwości wykorzystania popiołów lotnych z węgla brunatnego do produkcji betonu komórkowego”, Cement Wapno Gips nr 1/1967
- 71) Skarżyńska K. M., Burda H., Kozielska-Sroka E., „Analiza stanu technicznego wybranych obiektów budownictwa ziemnego wykonanych z materiałów odpadowych pod kątem prognozy zachowania się ich w czasie eksploatacji”, Kraków Akademia Rolnicza, 1983.
- 72) Skarżyńska K. M., Michalski P., „Badania cech geotechnicznych odpadów górnictwa węglowego pod kątem ich zastosowania w inżynierii wodnej”, Narada Nauk.-Tech. nt. Nowe materiały i ich zastosowanie, Warszawa, NOT 1980.
- 73) Skarżyńska K. M., Michalski P., Burda H., Kozielska-Sroka E., „Badania geotechniczne odpadów powęglowych pod kątem wykorzystania ich do podwyższenia i budowy grobli składowiska popiołów w Przezchlebie”, Kraków Akademia Rolnicza, 1982.
- 74) Skarżyńska M. K., Polak T., „Wykorzystanie odpadów z kopalń węgla kamiennego do budowy osadnika popiołów”, Górnictwo odkrywkowe, nr 3/1987. – w budownictwie,
- 75) Słupski W., „Wykorzystanie mieszanin popiołowo-żużlowych w Elektrociepłowni Żerań”, Drogownictwo nr 7/8-1976.
- 76) Stolecki L. „Możliwości składowania popiołów bełchatowskich poniżej zwierciadła wód podziemnych – badania procesu wiązania dla różnych metod składowania”, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencja „Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii”, Karpacz, 26-27 stycznia 2002.

- 77) Stolecki L. "Wpływ aktywności sejsmicznej na składowane odpady w wyrobisku Bełchatów" Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencja "Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii", Szklarska Poręba, 24-26 stycznia 2003.
- 78) Stolecki L. „Określenie związków chemicznych emitowanych do wód gruntowych ze związanych odpadów paleniskowych zdeponowanych na składowiskach zlokalizowanych w wyrobisku Bełchatów - porównanie wielkości otrzymanych z badań laboratoryjnych i monitoringu środowiska wodnego”, Górnictwo Odkrywkowe, marzec 2004.
- 79) Szczepanik P., Szczepański J. „Koncepcja docelowego składowania popiołu, żużla i gipsu z Elektrowni Bełchatów na zwałowisku wewnętrznym KWB Bełchatów. Hydrogeologiczny model rozptyłu zanieczyszczeń w rejonie składowiska odpadów dla oceny wpływu składowiska na wody podziemne”. Część Hydrogeologiczna, Poltegor Projekt sp. z o.o. Wrocław 1995 r.
- 80) Szczepański A., Szczepańska J., Postawa A. „Hydrochemiczna ocena warunków składowania popiołów na zwałowisku wewnętrznym O/Bełchatów”. AGH Kraków 1996 r.
- 81) Szczęśniak H., „Zagrożenia środowiska przyrodniczego w wyniku nagromadzenia odpadów mineralnych”, praca zbiorowa, SGGW AR Z. nr 18, Warszawa 1990.
- 82) TBP Poltegor, „Ługowanie związków rozpuszczalnych z gruntów nadkładowych z udziałem popiołów z Elektrowni Bełchatów - laboratoryjne badania na modelowym stanowisku lizymetrów”, Poltegor ONB, nr arch. 2216/ONB, Wrocław 1989.
- 83) Thiel A., „Badania nad wykorzystaniem popiołów lotnych z Bełchatowa jako składnika surowcowego do produkcji klinkieru oraz dodatku do cementu”, prace IPWMB, BOINTE Kraków 1985.
- 84) Tokaj W., „Próby zastosowania popiołów lotnych z węgla brunatnego jako wypełniacza do ma mineralno-bitumicznych oraz jako środka zwiększającego przyczepność bitumu do kruszywa”, Praca COBiRTD nr 1-2, Warszawa 1972.
- 85) Twardowska J., „Mechanizm i dynamika ługowania odpadów karbońskich na zwałowiskach”, Osolineum Wrocław 1981.
- 86) Twardowska J., „Rozwój bakterii *Desulfovibrio* na zwałowiskach odpadów elektrownianych”, Arch. Ochrony Środowiska nr 3-4/1984.

- 87) Wieczysty A., „Hydrogeologia Inżynierska” PWN, Łódź 1970 r.
- 88) Więckowska Jadwiga, Sobczyk Dorota, Górniak-Zimroz Justyna: Możliwości stabilizowania powierzchni stanowisk odpadów jako ochrona przed pyleniem. Raporty Inst. Gór. PWroc. 2003 Ser. SPR nr 38, 35 s.
- 89) Wolska-Kotańska C., „Wpływ popiołów lotnych na ciepło hydratacji oraz cementów portlandzkich. Cz. I”, Cement Wapno Gips nr 7/1975 r.
- 90) Wolska-Kotańska C., „Wpływ popiołów lotnych na ciepło hydratacji oraz inne cechy cementów portlandzkich. Cz. II” Cement Wapno Gips nr 1/1978.
- 91) Założenia Polityki Energetycznej Polski do 2025 roku, Warszawa 06.12.2004 r.
- 92) Zespół pracowników AGH pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. J. Chwastka, „Składowanie popiołu z Elektrowni Bełchatów w wyrobisku po eksploatacji węgla brunatnego KWB Bełchatów” Techno-kop sp. z o.o., Kraków 06.1992
- 93) ZGS. Uniwersytetu Wrocławskiego, „Reinterpretacja budowy geologicznej złoża Bełchatów w rejonie linii przekrojowych 42-70 N-S”, Wrocław 05.1992 r.
- 94) Zięba S., „Surowce wtórne do nawożenia gleb.” PWRiL, Warszawa 1982 r.
- 95) ZPBE Energopomiar Sp. zo.o. Gliwice „Wpływ składowiska żużla i popiołu Lubień na jakość wód podziemnych i powierzchniowych – rok 2002”, praca na zlecenie Elektrowni Bełchatów Sp. zo.o.
- 96) Żak M., „Wpływ popiołów lotnych z węgla kamiennego na poprawę produktywności gleb lekkich”, Konferencja nt. - Zagospodarowanie odpadów w rejonie Krakowa. NOT Kraków 1982.
- 97) Żołnierczyk W., „Wykorzystanie odpadów elektrownianych w produkcji wełny mineralnej”, Biuletyn Informacji o budownictwie nr 10/1985.