

Badania i ocena skuteczności mieszanin do redukcji emisji par rtęci z hałd odpadów powęglowych

Tests and evaluation of effectiveness of mixtures mitigating mercury vapour emission from mine waste dumps



Mgr inż. Henryk Świnder^{*)}



Prof. dr hab. inż. Barbara Bialecka^{*)}



Dr inż. Andrzej Bajerski^{*)}



Dr inż. Jacek Grabowski^{*)}

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i terenowych, których głównym celem było opracowanie składu mieszanin ograniczających procesy uwalniania się rtęci do środowiska naturalnego z hałd odpadów powęglowych oraz opracowanie metodyki jej trwałego wiązania (absorpcji). W prowadzonych pracach wykorzystano materiały odpadowe z energetyki, górnictwa węgla kamiennego i górnictwa gazu ziemnego. Opracowane mieszaniny do redukcji emisji par rtęci poddane zostały badaniom laboratoryjnym oraz badaniom *in situ* na zapożarowanej hałdzie odpadów powęglowych, w celu oceny ich skuteczności. Jako miarę skuteczności przyjęto względny spadek emisji powierzchniowej par rtęci związany z wykonaniem warstw absorpcyjno-izolujących z opracowanych mieszanin.

Abstract: This paper presents the results of laboratory tests and field research whose main objective was to develop the composition of mixtures mitigating processes of mercury release to the environment from mine waste dumps, and to develop a methodology for its permanent bonding (absorption). In the ongoing work we use waste materials from energy, coal mining and natural gas mining. The developed mixture to reduce emissions of mercury vapours were subject to laboratory tests and studies in situ on the heap of coal wastes with the risk of spontaneous combustion in order to evaluate effectiveness of this mixture. As a measure of efficacy, the relative decrease in the surface of the mercury vapor emissions, associated with the implementation of an absorption-insulating layers of the prepared mixtures, was assumed.

Słowa kluczowe:

rtęć, odpady powęglowe, ograniczenie emisji, odpady z energetyki i górnictwa

Keywords:

mercury, post-carbon waste, reduction of emissions, waste from energy and mining

^{*)} Główny Instytut Górnictwa w Katowicach

1. Wprowadzenie

Skutkiem ubocznym długotrwałej eksploatacji górniczej w Polsce jest degradacja środowiska naturalnego, zaś tereny zdegradowane przez przemysł wydobywczy zajmują dużą powierzchnię, wykorzystywaną tylko w małym stopniu. Rekultywacja i rewitalizacja tych obszarów jest niezmiernie ważna dla zachowania naszego ekosystemu, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

W działaniach związanych z ochroną środowiska ważnym elementem jest rozwiązanie problemu profilaktyki przeciwpożarowej hałd odpadów górniczych i ograniczenia emisji, w tym emisji rtęci i jej związków, wydzielających się z hałd. Szczególnie duże emisje rtęci są notowane na hałdach, na których występują aktywne zjawiska pożarowe. Wynika to z występowania podwyższonej temperatury bryły odpadów pogórnich, a tym samym dużej prężności par rtęci. Ze względu na toksyczność i negatywne oddziaływanie na środowisko, stanowi poważny problem.

Możliwość kumulacji rtęci i jej związków w organizmach żywych i jej zdolność do włączania się w obieg materii w przyrodzie, stanowi olbrzymi czynnik zagrożenia dla życia i zdrowia człowieka. Wymaga to podjęcia działań związanych z ograniczeniem tej emisji. Szczególnego znaczenia nabierają więc działania związane z ograniczeniem emisji rozproszonej rtęci z hałd odpadów powęglowych.

2. Geneza podjętych działań

Odpady z kopalń węgla kamiennego zawierają do 30% ilości substancji węglowej. Podlegają one naturalnemu procesowi utleniania, co prowadzi do emisji gazów cieplarnianych oraz rtęci i jej związków.

Powszechnie wyróżnia się trzy źródła pochodzenia rtęci w węglu: biologiczne, wulkaniczne oraz procesy syngenetycznego i epigenetycznego przenikania minerałów [3, 10].

W węglu kamiennym ze złóż polskich średnia zawartość rtęci wynosi od 0,10 do 0,24 mg/kg [4, 5], a podczas spalania skupia się głównie w popiele lotnym [2, 7, 9].

Przeprowadzone badania własne wykazały, że stężenie rtęci w próbkach materiału pobranego z zapożarowanej hałdy mieści się w zakresie od 0,61 do 115,2 mgHg/kg materiału.

W ostatnich latach podjęto liczne działania mające na celu minimalizację zagrożeń związanych z hałdami odpadów powęglowych, głównie w celu zapobiegania i zwalczania zapożarowania i ograniczania emisji CO₂ i gazów pożarowych. Zagrożenia pożarowe związane z lokowaniem odpadów powęglowych są w sposób konsekwentny ograniczane poprzez wprowadzanie w życie wielu nowych rozwiązań technicznych oraz wykorzystywanie specjalnych środków chemicznych.

Należy dodać, że stosowane mieszaniny gaśnicze nie eliminują problemu emisji rtęci i jej związków z ustabilizowanych lub aktywnych termicznie hałd odpadów powęglowych. Konieczne jest zatem podjęcie działań zmierzających do zapobiegania i ograniczania tego typu emisji.

Eksperymenty przedstawione w artykule miały na celu opracowanie takiej technologii rekultywacji hałd odpadów powęglowych, która jest ukierunkowana na ograniczenie i zapobieganie emisji rtęci i jej związków. Badania polegały dodatkowo na opracowaniu mieszanin absorpcyjnych, o potwierdzonej skuteczności w ograniczaniu lub eliminowaniu zapożarowania hałd odpadów powęglowych.

3. Emisja rtęci z hałd odpadów powęglowych

Ze względu na obecność znacznych ilości węgla, odpady powęglowe stanowią duże zagrożenie związane z możliwością wydzielania się rtęci i jej związków w procesach utleniania. Duża prężność par rtęci w warunkach normalnych, nawet w przypadku tzw. „zimnych” (niezapożarowanych) hałd odpadów powęglowych, stanowi potencjalne źródło emisji toksycznych par.

Zjawiska samozagrzewania i pożary hałd odpadów intensyfikują proces emisji rtęci. Ponieważ brak jest danych literaturowych odnośnie rozwiązania problemu emisji rtęci z hałd odpadów powęglowych analizie poddano zagadnienie ograniczania emisji i likwidacji zanieczyszczeń gruntów. Istnieje duża baza opracowań „praktycznych” umożliwiających dobór rozwiązań technologicznych dla unieszkodliwiania rtęci w glebie dla konkretnych przypadków. Znane w tym zakresie metody polegają na [6]:

- składowaniu gleby jako odpadu,
- usunięciu rtęci z gleby (do uzyskania dopuszczalnego poziomu zanieczyszczeń),
- immobilizacji rtęci i jej związków w stopniu uniemożliwiającym jej emisję do środowiska naturalnego.

Metody chemiczne i termiczne usuwania rtęci z gleby są obciążone wysokimi kosztami, a tym samym nie są stosowane powszechnie. Ponadto wykorzystanie środków chemicznych dodatkowo stwarza problemy związane z unieszkodliwieniem produktów odpadowych, powstających w procesach wymywania i ługowania gleby. Alternatywą dla tych metod może być wykorzystanie różnych materiałów do immobilizacji rtęci i jej związków w glebie i taką też metodę wykorzystano do minimalizacji emisji rtęci z hałd odpadów powęglowych. W celu obniżenia kosztów, w ramach prowadzonych prac, podjęto próby wykorzystania różnych odpadów do sporządzania mieszanek absorpcyjnych.

Podjęto również próby oceny metod gaszenia pożarów na hałdach odpadów powęglowych i ograniczania emisji rozproszonej ditlenku węgla [8] na ograniczenie emisji rtęci i jej związków z takich obiektów.

4. Badania laboratoryjne mieszanin

Ograniczanie emisji rtęci i zmniejszanie ryzyka samozagrzewania i zapożarowania hałd odpadów powęglowych zależą od wielu czynników: rodzaju materiału, jego ilości i rozdrobnienia, zawartości rtęci w węglu, stanu termicznego hałdy, rodzaju warstw izolacyjnych i sposobu ich formowania.

W ramach prowadzonych badań wykorzystano różne materiały odpadowe do immobilizacji rtęci na terenach hałd odpadów powęglowych. Przyjęto założenie, że stabilizacja w materiale hałdowym pozwoli na wyeliminowanie emisji rtęci do atmosfery i wymywanie do wód powierzchniowych i podziemnych.

Każdy z zastosowanych w ramach prac materiałów prewencyjnych i zapobiegawczych charakteryzował się reaktywnością chemiczną w stosunkach do rtęci i jej związków. Ponadto, wybrane materiały posiadały zdolność adsorpcji zanieczyszczeń chemicznych, głównie rtęci, na powierzchni ze względu na właściwości fizyczne.

Wspólną cechą użytych materiałów była obecność w nich siarki lub jej związków ze względu na ich dużą reaktywność z rtęcią. Wykorzystano fakt tworzenia się w reakcji rtęci z siarką praktycznie nierozpuszczalnego ($4,0 \times 10^{-53} \text{ mol}^2/\text{l}^2$) w wodzie siarczku rtęci (HgS). Ponadto zastosowanie, jako matrycy nośnej dla mieszanin absorpcyjnych popiołu lotnego z kotłów fluidalnych, spowodowało alkalizację środowiska

reakcji, a tym samym zmniejszyło ryzyko wtórnego rozkładu powstającego siarczku rtęci.

We wstępnej fazie do badań wytypowano następujące rodzaje materiałów i odpadów:

- popiół lotny z kotła fluidalnego,
- popiół denny ze złoża fluidalnego,
- odpad ze wzbogacalników zwojowych z kopalni węgla kamiennego,
- pulpe siarkową - produkt odpadowy z kopalni gazu ziemnego, powstający w procesie odsiarczania metodą redox gazu ziemnego, zawierającego siarkowodor,
- karbonizat - produkt odpadowy, powstający w procesie pirolitycznej utylizacji opon samochodowych.

W każdym z tych materiałów określono: zawartość Hg, wymywalność Hg, zawartość wilgoci, straty prażenia, pH, zawartość wybranych pierwiastków i związków chemicznych oraz wybrane właściwości fizyczne, takie jak gęstość, rozlewność w mieszaninie z wodą itp.

Do określenia optymalnego składu mieszaniny do redukcji par rtęci z hałd odpadów powęglowych wybrano mieszaninę popiołu lotnego z kotła fluidalnego z wodą jako bazową. Następnie badano własności mieszaniny bazowej w zakresie jej zdolności do penetracji bryły hałdy po wprowadzeniu dodatków modyfikujących. Jako miarę tego parametru przyjęto rozlewność mieszaniny.

Dla wszystkich sporządzonych mieszanin przeprowadzono terenowe badania porównawcze w zakresie emisji rtęci i jej związków. Jako główne kryterium przydatności mieszaniny do redukcji par rtęci i jej związków z hałd odpadów powęglowych przyjęto zawartość rtęci w mieszaninie po 3 tygodniach kontaktu z podłożem zwałowiska odpadów powęglowych oraz podatność na przenikanie (wymywalność) do środowiska.

Oznaczenie zawartości rtęci w próbkach wykonano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generowaniem zimnych par (CVAAS) według wewnętrznej procedury badawczej SC-1.PB.23 (edycja 5 z dnia 17.01.2014). Badania próbek wyciągu wodnego obejmowały oznaczenie zawartości rtęci metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z generowaniem zimnych par (CVAAS) według wewnętrznej procedury badawczej SC-1.PB.23 (edycja 5 z dnia 17.01.2014) – metoda akredytowana.

5. Badania terenowe skuteczności mieszanin do redukcji emisji par rtęci i jej związków

5.1. Metodyka badań

Mieszaniny do redukcji emisji par rtęci poddane zostały badaniom mającym na celu ocenę ich skuteczności. Skuteczność opracowanych mieszanin, według zastosowanej metody, określono jako względny spadek emisji powierzchniowej par rtęci w wyniku działań warstw z opracowanych mieszanin.

W celu optymalizacji skuteczności działań prewencyjnych i zapobiegawczych w zakresie emisji rtęci, konieczne było stosowanie skorelowanych ze sobą technologii ograniczania emisji, dostosowanych zarówno do natężenia strumienia par rtęci, warunków termicznych panujących na hałdzie, jak również do jej morfologii.

Przeprowadzone badania *in situ* odzwierciedlały warunki jakie występują na obiektach uformowanych z odpadów powęglowych wykazujących aktywność termiczną. Zastosowany sposób implementacji mieszanin na powierzchni symulował także warunki jakie panują w trakcie robót terenowych, prowadzonych w ramach działań prewencyjno-gaśniczych.

W przyjętej metodzie badań zdecydowano się na wariant wykonania na zapożarowanych fragmentach zwałowiska okrywy izolacyjno-sorpcyjnej z wykorzystaniem czterech opracowanych mieszanin przeznaczonych do redukcji emisji par rtęci.

Metodyka oceny polegała na:

- przygotowaniu partii mieszanin umożliwiających wykonanie na powierzchni zwałowiska okryw izolacyjno-sorpcyjnych,
- wykonaniu badań potwierdzających występowanie stanów termicznych w miejscu lokalizacji poligonu badawczego,
- wykonaniu wstępnych badań emisji par rtęci w wytypowanych punktach pomiarowych,
- wytworzeniu okryw izolacyjno-sorpcyjnych na powierzchni zwałowiska,
- wykonaniu badań emisji par rtęci po zastosowaniu okryw.

5.2. Przygotowanie mieszanin absorpcyjnych

Na podstawie badań laboratoryjnych zostały opracowane mieszaniny absorpcyjne, które charakteryzowały się:

- odpowiednio dobranym składem,
- immobilizacją rtęci w swojej strukturze w trwały sposób,
- możliwością interakcji z powietrzem porowym, prowadzącą do pochłaniania gazów hałdowych zawierających rtęć i jej związki,
- odpowiednią lepkością, wpływającą na zdolność penetracji mieszaniny w strukturę porowatą zwałowiska,
- zdolnością do gaszenia oraz obniżania temperatury bryły zwałowiska odpadów powęglowych,
- zdolnością do utworzenia szczelnej struktury z materiałem hałdy,
- wykorzystaniem w jak największym stopniu materiałów odpadowych pozwalających na optymalizację ekonomiczną prowadzonych prac.

Wykorzystanie danych o możliwościach ograniczenia emisji rtęci przez poszczególne rodzaje mieszanin, pozwalają na wydanie rekomendacji dla zastosowania optymalnej, dla danego przypadku, receptury.

5.3. Badania skuteczności mieszanin do redukcji emisji rtęci na poligonie badawczym

Poligon doświadczalny zlokalizowano na zapożarowanym fragmencie nieczynnego zwałowiska odpadów powęglowych. Na podstawie symptomów zewnętrznych, takich jak: wyrzuty gazów z wnętrza obiektu i charakterystyczne wykwyty na powierzchni terenu, określono wstępnie zakres strefy zapożarowania. Teren ten objęto badaniami termowizyjnymi, w wyniku których określono obszar o najwyższych temperaturach powierzchni. Wykonano wstępne badania stanu termicznego, tj.:

- badania temperatury na głębokości 1m,
- badania stężeń gazów (CO, CO₂, O₂) pobranych także z głębokości 1m.

Powyższe badania były podstawą wytypowania konkretnych punktów terenowych pod lokalizację okryw izolacyjno-sorpcyjnych wykonanych z opracowanych mieszanin.

W punktach terenowych o potwierdzonych zaawansowanych stanach termicznych wykonano wstępne (poprzedzające zastosowanie okryw izolacyjno-sorpcyjnych) badania emisji par rtęci z zastosowaniem metody komorowej [1].

Zasada metody polegała na wyizolowaniu przestrzeni w badanym punkcie zwałowiska za pomocą komory pomiarowej. Zmiana stężenia par rtęci wewnątrz komory mierzona była za pomocą miernika RA-915M w czasie 120 s od momentu ustawienia komory w punkcie pomiaru. Wartość emisji par rtęci obliczana była na podstawie przyrostu stężenia par rtęci

wewnątrz komory z uwzględnieniem ilości par rtęci, które opuściły komorę w czasie pomiaru przez kanał wylotowy do atmosfery.

Wybrane cztery rodzaje mieszanin zostały zaimplementowane w czterech punktach pomiarowych oddalonych o kilka metrów od siebie.

Wykonanie okryw izolacyjno-sorpcyjnych polegało na:

- wymieszaniu składników mieszaniny z wodą, w celu uzyskania jednorodnej konsystencji,
- wykonaniu zabezpieczenia przed rozlewem mieszaniny w miejscu pomiaru dla czterech mieszanin, o powierzchni około 1m² każda i grubości 0,15m,
- rozproszaniu mieszanin w poszczególnych punktach pomiarowych.

Zastosowane proporcje składników dla poszczególnych mieszanin przedstawiono w tabelicy 1.

Badania kontrolne wartości emisji par rtęci w poszczególnych punktach pomiarowych wykonywano dwukrotnie, tj. po pierwszym dniu od wykonania okryw izolacyjno-sorpcyjnych oraz po okresie trzech tygodni (przy zastosowaniu tej samej metodyki i aparatury).

6. Wyniki badań terenowych

6.1. Badania temperatury powierzchni obiektu

Badania przeprowadzono we wczesnych godzinach porannych celem eliminacji wpływu nasłonecznienia na wyniki analizy termograficznej.

W tabelicy 2 przedstawiono wartości temperatur powierzchni i warstw wglębnych w czterech wytypowanych rejonach aktywności termicznej przewidzianych do wykonania okryw izolacyjno-sorpcyjnych.

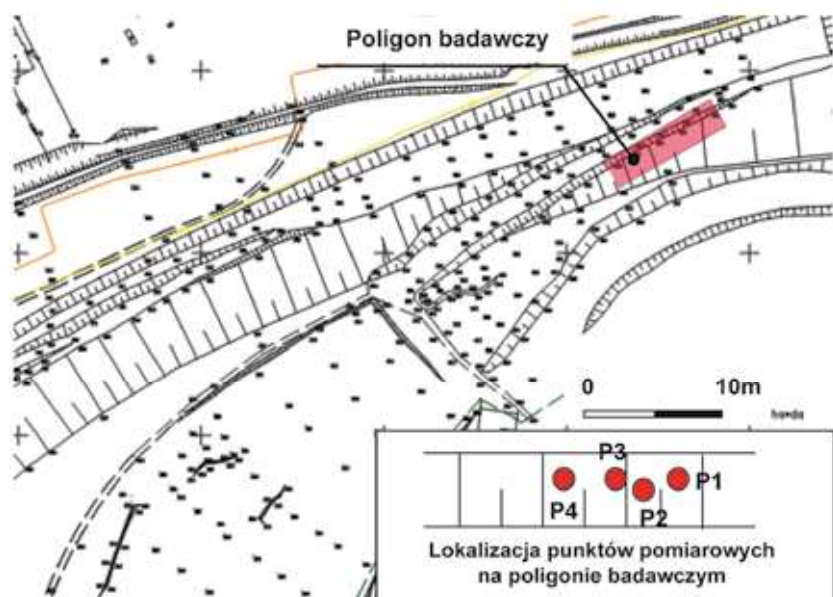
Przeprowadzone badania stanu termicznego wykazały, że we wszystkich czterech punktach występują zaawansowane zjawiska termiczne. Temperatury wnętrza oscylujące w granicach 70-90°C oraz bardzo wysokie stężenia tlenu węgla, dochodzące do ponad 1% w gazach na głębokości 1 m, świadczą o intensywnych reakcjach zachodzących we wnętrzu nasypów zwalowiska na tym obszarze. Na rys. 1 przedstawiono lokalizację poligonu badawczego na zwalowisku z naniesioną lokalizacją punktów pomiarowych.

Tabela 1. Charakterystyka mieszanin wykorzystanych do ograniczenia emisji rtęci na poligonie doświadczalnym
Table 1. Characteristics of the mixtures used to reduce emissions of mercury on an experimental training ground

| Mieszanina | Woda | Popiół lotny | Popiół denny | Karbonizat | Pulpa siarkowa | Odpad ze wzbogacalników spiralnych | Rozlewność mm |
|------------|------|--------------|--------------|------------|----------------|------------------------------------|---------------|
| | | | | | | | |
| A | 100 | 150 | 0 | 3 | 0 | 0 | 93 |
| B | 100 | 140 | 0 | 0 | 7 | 0 | 93 |
| C | 70 | 100 | 50 | 0 | 0 | 0 | 74 |
| D | 75 | 150 | 0 | 0 | 0 | 75 | 80 |

Tabela 2. Wyniki badań stanu termicznego
Table 2. Results of tests on thermal state

| Lp. | Temperatura powierzchni | Temperatura wnętrza | CO | CO ₂ | O ₂ |
|-----|-------------------------|---------------------|--------|-----------------|----------------|
| | °C | °C | % obj. | % obj. | % obj. |
| 1. | 30,3 | 83 | 1,25 | 18,80 | 0,05 |
| 2. | 34,0 | 81 | 1,12 | 18,76 | 0,01 |
| 3. | 31,2 | 71 | 0,66 | 17,83 | 1,16 |
| 4. | 50,0 | 91 | 0,94 | 18,24 | 0,68 |



Rys. 1. Lokalizacja poligonu badawczego dla oceny skuteczności mieszanin do redukcji emisji par rtęci

Fig. 1. Location of polygon research to evaluate the effectiveness of the mixtures to reduce emissions of mercury vapor

6.2. Ocena redukcji emisji par rtęci

Badania terenowe emisji par rtęci z wykorzystaniem metody komorowej posłużyły do analizy eksperckiej otrzymanych wyników pomiarów i obliczenia wartości emisji dla fazy wstępnej (zerowej) i kontrolnej, tj. po wykonaniu okryw izolacyjno-sorpcyjnych.

Wyniki obliczeń wartości emisji dla wszystkich punktów pomiarowych i trzech okresów czasowych zamieszczono w tablicy 3.

6.3. Ocena skuteczności mieszanin

Podstawą oceny skuteczności opracowanych mieszanin izolacyjno-sorpcyjnych było porównanie wartości emisji w miejscach wykonania pomiarów przed i po wykonaniu okryw.

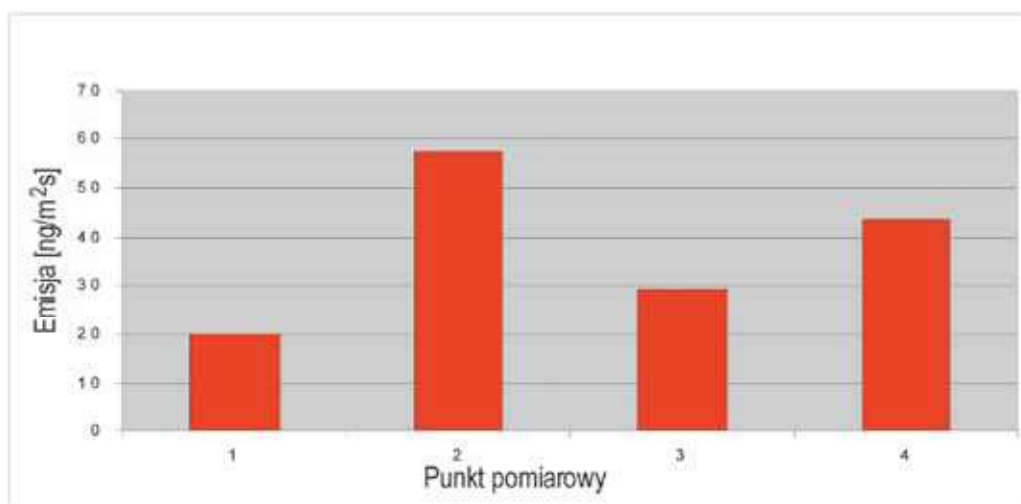
Wartością podlegającą ocenie była względna zmiana wartości emisji (w każdym przypadku był to spadek) po określonym czasie, liczonym od momentu wykonania okryw w terenie, dla każdej z zastosowanych mieszanin.

Na wykresach (rys.2 i rys. 3) przedstawiono wyniki pomiarów emisji rtęci w poszczególnych punktach pomiarowych dla emisji wyjściowej i emisji kontrolnych.

Tablica 3. Wartości emisji par rtęci

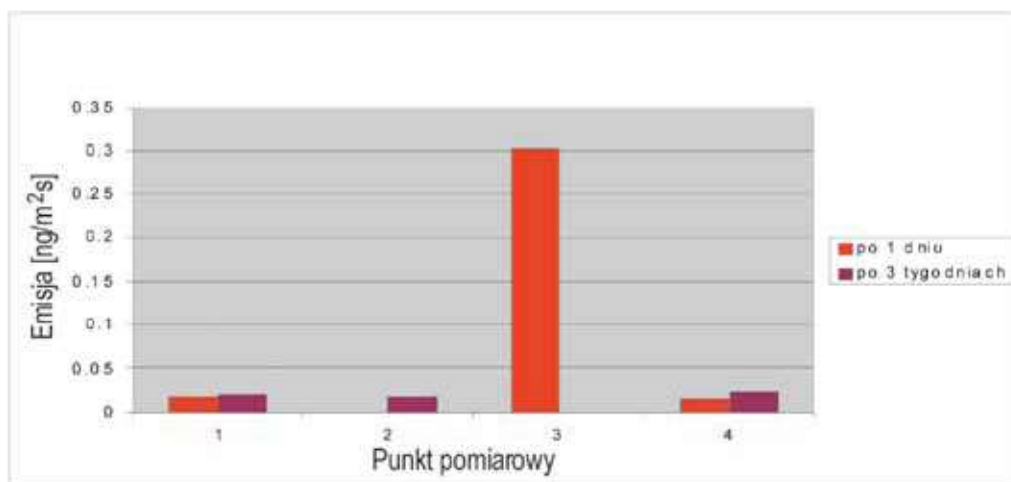
Table 3. Values for evaporative emissions of mercury

| Punkt pomiarowy | Emisja wyjściowa | Emisja po 1 dniu | Emisja po 3 tygodniach |
|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| | ng/m ² s | ng/m ² s | ng/m ² s |
| 1. | 19.892 | 0.017 | 0.02 |
| 2. | 57.403 | 0 | 0,017 |
| 3. | 29.199 | 0.302 | 0 |
| 4. | 43.389 | 0.013 | 0.021 |



Rys. 2. Emisja wyjściowa rtęci

Fig. 2. Emissions of mercury output



Rys. 3. Emisja kontrolna rtęci po 1 dniu i po 3 tygodniach

Fig. 3. Control emission of the mercury after one day and after 3 weeks

Skuteczność wszystkich mieszanin była wysoka i dochodziła do 100%.

7. Analiza wyników badań

Analizie wpływu na ograniczanie emisji rtęci poddano cztery mieszaniny, a ocenę efektywności mieszaniny pod kątem wielkości absorpcji i chemisorpcji rtęci przeprowadzono na postawie oceny zawartości rtęci w mieszaninie po 3 tygodniach kontaktu z podłożem składowiska odpadów pogórnich oraz podatności na przenikanie (wymywalności) do środowiska.

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4.

Celem określenia skali skuteczności poszczególnych mieszanin, przyjęto 3 główne kryteria oceny ich właściwości:

- skuteczność (E) - ograniczenie ilości emitowanej rtęci ze składowiska; waga kryterium 35 pkt,
- chłonność mieszaniny (A) - zdolność do absorpcji rtęci na jednostkę masy- waga kryterium 30 pkt.
- wymywalność rtęci z mieszaniny (stabilność, immobilizacja rtęci) (P) – waga kryterium 35 pkt.

Na podstawie wyników pomiarów i badań sporządzono macierz oceny opracowanych mieszanin pod kątem ich efektywności i skuteczności dla ograniczenia emisji rtęci ze składowisk odpadów pogórnich (tabela 5).

Przyjęto: najlepszy wynik =100 pkt, pozostałe – proporcjonalnie mniej w stosunku do najlepszego wyniku.

8. Podsumowanie

Decydującym kryterium wyboru konkretnej mieszaniny ograniczającej emisję rtęci na zwałowiskach odpadów powęglowych było uzyskanie wysokiej skuteczności, tj. możliwość uzyskania maksymalnego ograniczenia emisji, przy zapewnieniu jak najwyższej zdolności absorpcji i minimalnej zdolności wymywania do środowiska. Ważnym czynnikiem, wpływającym na wybór komponentów mieszanin, była ich dostępność oraz koszt jednostkowy otrzymania mieszaniny o określonych

właściwościach absorpcyjnych i chemisorpcyjnych.

W trakcie badań terenowych stwierdzono wysoką skuteczność stosowanych mieszanin jako środków ograniczających emisję i wymywalność rtęci. Dodatek materiałów odpadowych, takich jak popioły denne z kotła fluidalnego, karbonizat z niskotemperaturowej pirolizy opon samochodowych lub pulpa siarkowa otrzymywana w procesie oczyszczania gazu ziemnego metodą chelatową wraz z popiołami lotnymi z kotła fluidalnego, pozwala na uzyskanie trwałego i skutecznego efektu związania chemicznego i absorpcji par rtęci i jej związków na hałdach odpadów powęglowych. Zastosowane rozwiązania gwarantują uzyskanie wysokiej skuteczności immobilizacji jonów rtęci, a tym samym są niezwykle skutecznym i ekologicznym rozwiązaniem problemu zanieczyszczenia środowiska przez rtęć na zapożarowanych hałdach odpadów powęglowych.

W trakcie kontaktu gazów wydzielających się ze zwałowiska odpadów powęglowych następowało ich wiązanie, wskutek czego pary rtęci i jej związków ulegały absorpcji i trwałemu wiązaniu z bryłą materiału hałdowego. Proces dozowania mieszanin na składowisko odpadów powęglowych miał również wpływ na wzrost stabilności mechanicznej i zagęszczenia gruntu hałdy, co w znaczący sposób zredukowało zjawiska pożarowe i ograniczyło możliwość zwiększonej emisji rtęci w podwyższonej temperaturze.

Synergiczne właściwości składników otrzymanej mieszaniny pozwalają na wytworzenie stabilnego fizycznie i chemicznie układu absorbującego, wiążącego rtęć i jej związki. Opracowane mieszaniny do redukcji emisji par rtęci poddane zostały ochronie patentowej - zgłoszenia wynalazków nr P. 414391 414392, 414394, 414395 pt.: „Mieszanina do likwidacji emisji rtęci z hałd odpadów powęglowych”.

Artykuł powstał jako efekt badań statutowych GIG, prowadzonych w ramach projektu „Opracowanie bazy danych zawartości rtęci w krajowych węglach, wytycznych technologicznych jej dalszej redukcji wraz ze zdefiniowaniem benchmarków dla krajowych wskaźników emisji rtęci” finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (umowa o dofinansowanie Nr PBS2/A2/14/2013).

Tablica 4. Zawartość rtęci w mieszaninach wykorzystanych do ograniczenia emisji rtęci na poligonie doświadczalnym

Table 4. Mercury content in mixtures used to reduce emissions of mercury on the training ground pig

| Mieszanina | Zawartość Hg w mieszaninach, mg/kg (ppm) | | Zawartość Hg w wyciągu wodnym mg/l |
|------------|--|-----------------|------------------------------------|
| | wzorcowej | po 3 tygodniach | |
| A | 0,33 | 0,38 | <0,001 |
| B | 0,34 | 0,52 | <0,001 |
| C | 0,23 | 0,55 | <0,001 |
| D | 0,39 | 0,72 | <0,001 |

Tablica 5. Macierz oceny skuteczności mieszanin

Table 5. Matrix of assessment of the mixture effectiveness

| Nr mieszaniny | E | A | P | Suma punktów |
|---------------|-------|-------|-------|--------------|
| 1. | 34,97 | 15,83 | 35,00 | 85,80 |
| 2. | 35,00 | 21,67 | 35,00 | 91,67 |
| 3. | 35,00 | 21,92 | 35,00 | 91,92 |
| 4. | 34,97 | 30,00 | 35,00 | 99,97 |
| Średnia | 34,99 | 22,36 | 35,00 | 92,42 |

Literatura

1. *Bialecka B., Grabowski, J.*: Mercury in the exhalation gases from thermally active coal mining waste dumps. Konferencja SGEM 2015 GeoConference on Science and Technologies in Geology Exploration and Mining, tom 3, s. 369 – 376, 18 – 24.06. 2015 r, Albena, Bułgaria.
2. *Bojakowska I., Sokołowska G.*: Rtęć w kopalinach wydobywanych w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 2001, t. 394, s. 5–54.
3. *Hover J.C., Eble C.F., Quick J.C.*: Mercury in Eastern Kentucky coals: Geologic aspects and possible reduction strategies. International Journal of Coal Geology t. 62, 2005, s. 223–236.
4. KOBiZE, Poland's informative inventory report 2013, 2013.
5. Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2010–2011 w układzie klasyfikacji SNAP. Raport syntetyczny, KOBiZE, Warszawa 2013.
6. *Krasińska A., Szłęk M.*: Problemy związane z zanieczyszczeniem środowiska glebowego rtęcią na terenie działalności branży górnictwa naftowego i gazownictwa, „Nafta-Gaz” maj 2008, rok LXIV.
7. Projekt COOL's System zarządzania likwidacją emisji CO₂ ze zwałowisk odpadów powęglowych, UDA-POIG. 01.03.01-24-029/08-00
8. *Pyka I., Wierzchowski K.*: Problemy z rtęcią zawartą w węglu kamiennym. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2010, t. 34, z. 4/1, s. 241–248.
9. *Wojnar K., Wisz J.*: Rtęć w polskiej energetyce. „Energetyka” 2006, nr kwiecień, s. 280–283.
10. *Yudovich Ya.E., Ketris M.P.*: Mercury in coal: a review – Part 1. Geochemistry. International Journal of Coal Geology t. 62, 2005, s. 107–134.

WARTO WIEDZIEĆ

Jaki jest - wg danych za III kw. 2015 roku

koszt wytwarzania jednej megawatogodziny MWh energii elektrycznej z różnych nośników.

ZAPAMIĘTAJMY

węgiel brunatny 130,40 zł (100%)

woda 164,20 zł (126%)

węgiel kamienny 172,30 zł (133%)

wiatr 210,90 zł (162%)

gaz 241,20 zł (185%)

biomasa 367,90 zł (283%)

Wobec niedoboru zasobów wody – węgiel jest naszym najtańszym źródłem energii,
a górnictwo węgla brunatnego i kamiennego
to strategiczne sektory całej gospodarki na wiele dziesięcioleci.

Gospodarstwo domowe zużywa około 1000 kWh/osobę (= 0,001 MWh)