

Mariusz Cwięczek

WPŁYW PROCESU ZGAZOWANIA ODPADÓW GUMOWYCH NA EMISJĘ ZANIECZYSZCZEŃ DO ŚRODOWISKA

Streszczenie

W krajach Unii Europejskiej, w dziedzinie gospodarki odpadami gumowymi, wdrażane są zalecenia Komisji Europejskiej, pozwalające na osiągnięcie następujących celów:

- blisko 100% zbiórkę zużytych opon, stanowiących około 70% odpadów gumowych,
- bieżnikowanie co najmniej 25% i recykling 65% tonażu zużytych opon,
- rezygnację ze składowania na powierzchni lub deponowania opon w ziemi i spalania bez odzysku energii cieplnej.

W Polsce, w związku z narastającym problemem z odpadami gumowymi, a w szczególności z oponami samochodowymi oraz zgodnie ze światowymi tendencjami, w Zakładzie Oszczędności Energii Głównego Instytutu Górnictwa prowadzone są prace badawcze nad technologią termicznej utylizacji odpadów gumowych, polegającą na ich zgazowaniu i wykorzystaniu powstałego gazu procesowego do celów grzewczych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych, hałasu oraz czynników szkodliwych na stanowiskach pracy związanych z działaniem instalacji do termicznej utylizacji odpadów gumowych. Badania przeprowadzono w 2001 roku na instalacji badawczej. Uzyskane wyniki potwierdziły, że analizowany proces termicznej utylizacji odpadów gumowych zapewnia dotrzymanie norm emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych oraz spełnia wymagania określone w Rozporządzeniu MOŚZNiL z dnia 28.04.1998 r. „w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających powietrze” w zakresie rozprzestrzeniania się w powietrzu zanieczyszczeń normowanych i pozostałych oznaczonych w gazach odlotowych. W celu dopuszczenia badanej instalacji do przemysłowego stosowania wymagane jest wykonanie pomiarów emisji dioksyn i furanów, niebędących przedmiotem niniejszych badań i porównania z wartościami normatywnymi. Przeprowadzone badania warunków pracy przy instalacji zgazowania odpadów gumowych w zakresie stężeń pyłu całkowitego, pyłu respirabilnego, tlenku węgla i dwutlenku siarki, wykazały dotrzymanie wartości NDS określonych w Rozporządzeniu MPiPS z dnia 17.06.1998 r. i 2.01.2001 r. Ponadto stwierdzono, że działalność instalacji nie spowoduje wystąpienia uciążliwości akustycznych w środowisku zewnętrznym. Poziom równoważny dźwięku A emitowany przez instalację, dla ośmiu najbardziej niekorzystnych godzin dnia, na analizowanym terenie wynosi około 41 dB(A) i nie przekracza wartości dopuszczalnej 50 dB(A), w porze dziennej.

Impact of the rubber waste gasification process on pollution emissions to the environment

Abstract

In European Union member states, in the field of rubber waste management, are implemented recommendations of the European Commission, enabling to achieve the following objectives:

- almost 100%-collection of used tyres, constituting about 70% of rubber wastes,
- retreading of at least 25%, and recycling of 65% of the tonnage of used tyres,
- resignation of storage of tyres on the surface, or their disposal underground and combustion without thermal energy recovery.

In Poland in connection with the increasing problem of rubber wastes, and especially regarding car tyres, and in conformity with world tendencies, in the Department of Energy Saving of the Central Mining Institute are conducted investigations relating to the thermal utilization technology of rubber wastes, consisting in their gasification, and utilization of the produced process gas for heating purposes.

The article presents the results of measurements of dust-and-gas pollution emissions, noise and harmful factors at workstations connected with the operation of installation for waste thermal utilization. The tests were conducted in 2001, using a testing installation. The obtained results have proved that the analysed process of rubber waste thermal utilization ensures the meeting of standards of dust-and-gas pollution emissions and fulfilment of the requirements determined in the Order of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry of 28 April 1998 on "admissible concentration values of substances polluting the air" with respect to standardized pollutions, spreading in the air, and remaining contaminations determined in waste gases. In order to accept the tested installation for industrial use, it is required to perform emission measurements of dioxins and furanes, which are not the subject of present investigations, and to compare them with normative values. The tests concerning work conditions carried out at the installation of rubber waste gasification with respect to concentrations of total dust, respirable dust, carbon monoxide, and sulfur dioxide indicated that the maximum permissible concentration values, determined in the Orders of the Minister of Labour and Social Policy of 17 June 1998 and 2 January 2001, were kept. Moreover, it was ascertained that the operational activity of the installation does not cause the occurrence of acoustic nuisances in the external environment. The equivalent level of sound A emitted by the installation for eight most unfavourable hours during the day in the analysed area amounts to about 41 dB(A) and does not exceed the permissible value of 50dB(A) at daytime.

1. WSTĘP

W Polsce w ostatnich latach składowanie odpadów gumowych, a w szczególności opon samochodowych stało się znacznym problemem. W związku z powyższym, jak również z uwagi na zalecenia Komisji Europejskiej, w Głównym Instytucie Górnictwa prowadzone są prace badawcze nad technologią technicznej utylizacji odpadów gumowych [11]. Utylizacja odpadów polega na ich zgazowaniu i wykorzystaniu powstałego gazu procesowego do celów grzewczych. Zakres prac obejmuje także określenie emisji zanieczyszczeń:

- produktów gazowych (spaliny ze spalania gazu procesowego w kotle energetycznym),
- produktów stałych (popiół, złom stalowy)

procesu termicznej utylizacji odpadów gumowych oraz określenie czynników szkodliwych na stanowisku pracy i emisji hałasu z instalacji.

2. SYSTEMY UTYLIZACJI ODPADÓW GUMOWYCH

Odpady gumowe jako trwałe, nieulegające biodegradacji stanowią poważny problem ekologiczny [9]. Rozwój przemysłu motoryzacyjnego powoduje, że opony samochodowe, ze względu na ich ilość, w grupie odpadów gumowych stanowią znaczny udział. W roku 1995 w Polsce generowano około 100 tys. ton zużytych opon, co stanowiło 74% odpadów gumowych, natomiast prognoza dla roku 2005 wykazuje 30% wzrost ilości zużytych opon (około 131 tys. ton rocznie – 72% odpadów gumowych). W Dyrektywie 75/442/EEC Unii Europejskiej, dotyczącej odpadów, zużyte opony zostały zaliczone do odpadów o istotnym znaczeniu.

Powszechnie praktykowanym sposobem zagospodarowywania odpadów gumowych jest ich składowanie. Do podstawowych wad tego sposobu zaliczyć należy:

- wymagane duże objętości składowisk,
- brak możliwości wykonania ziemnego pokrycia na składowisku.

Zgodnie z dyrektywami UE kraje zachodnioeuropejskie stopniowo rezygnują ze składowania odpadów gumowych. W Holandii w 1996 roku wprowadzono zakaz składowania opon na wysypiskach, we Włoszech w 2000 roku, natomiast we Francji na początku 2002 roku [10]. Rozpowszechnia się natomiast recykling odpadów gumowych, polegający na ich rozdrabnianiu, mieleniu, następnie działaniu czynnikami chemicznymi w wysokiej temperaturze i określonym ciśnieniu. Produktami tego sposobu zagospodarowania są:

- wykładziny, maty, szczeliwa,
- materiały dźwiękochłonne i wibroizolacyjne,
- nawierzchnie obiektów sportowych,
- mieszaniny rozdrobnionej gumy i PCV w postaci m.in. węży, brezentów samochodowych.

Efektywnymi i stosunkowo często stosowanymi metodami utylizacji odpadów gumowych są także metody termiczne.

2.1. Termiczne metody utylizacji odpadów gumowych

Odpady gumowe ze względu na wysoką wartość energetyczną (ciepło spalania $Q \cong 30000$ kJ/kg), porównywalną z wartością energetyczną wysokogatunkowych węgla kamiennych, efektywnie utylizowane są w procesach spalania z odzyskiem ciepła w specjalnych paleniskach. W termicznych metodach utylizacji wykorzystuje się następujące zjawiska:

- spalanie,
- pirolizę,
- zgazowanie.

2.1.1. Spalanie

Spalanie odpadów gumowych może się odbywać w paleniskach zapewniających temperaturę rzędu $1000\div 1600$ °C, powodującą całkowitą utylizację i utlenianie elementów stalowych. W zależności od konstrukcji paleniska oraz sposobu spalania odpady gumowe mogą stanowić paliwo zasadnicze lub uzupełniające. Energia uzyskiwana podczas spalania odpadów gumowych jest wykorzystywana w następujących gałęziach przemysłu:

W przemyśle cementowym odpady gumowe (opony samochodowe) stanowią paliwo uzupełniające w procesie wypalania klinkieru w piecach obrotowych, przede wszystkim z powodu:

- wysokiej wartości opałowej,
- mniejszej zawartości azotu, siarki i popiołu w porównaniu z węglem,

- zawartości stali w zbrojeniu opon, eliminującej konieczność dodawania tlenków żelaza do procesu wypalania klinkieru.

Stosowanie opon jako paliwa w cementowniach rozpowszechnione jest w USA, Japonii, Wielkiej Brytanii, Niemczech oraz Belgii. Badania prowadzone w Europie zachodniej wykazały, że proces spalania opon w piecach obrotowych nie powoduje wzrostu emisji głównych zanieczyszczeń gazowych, tj.: SO₂, NO_x oraz CO [3].

W przemyśle papierniczym, w instalacjach kotłowych celulozowni i zakładów papierniczych w USA spalane są odpady gumowe jako paliwo uzupełniające, pozbawione elementów stalowych (paliwo TDF *tire-derived-fuel* – rozdrobnione opony do rozmiarów kilkunastu centymetrów kwadratowych). W paleniskach opalanych odpadami drzewnymi z dodatkiem węgla, TDF zastępuje tradycyjne paliwo. Udział wykorzystania TDF w mieszaninie paliwa jest ograniczony wielkością emisji zanieczyszczeń.

W energetyce odpady gumowe nieprzetworzone, jak i paliwo TDF, stosowane są jako paliwo uzupełniające w kilku elektrowniach w Stanach Zjednoczonych. Powszechność stosowania technologii ograniczona jest koniecznością dotrzymania norm emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych.

2.1.2. Piroliza

Proces pirolizy polega na rozkładzie organicznych związków chemicznych o większych masach cząsteczkowych na cząsteczki mniejsze pod wpływem temperatury i przy braku lub niedoborze tlenu. W zależności od technologii oraz rodzaju odpadów gumowych produktami pirolizy mogą być:

- węgiel aktywny, koks, sadza,
- olej, gaz,
- stal.

Najczęściej proces pirolizy prowadzony jest w złożu fluidalnym w zakresie temperatury 300÷800°C.

Ze względu na wysokie nakłady inwestycyjne oraz duży stopień niebezpieczeństwa procesu technologia nie jest rozpowszechniona.

2.1.3. Zgazowanie

Zgazowanie jest procesem termochemicznym przemiany związków organicznych zawartych w odpadach gumowych na paliwa gazowe za pomocą wolnego lub związanego tlenu. Zgazowanie przeprowadza się w kontrolowanych warunkach temperatury i zawartości tlenu. Optymalna temperatura procesu wynosi 200÷400 °C. Produktem zgazowania odpadów gumowych (opon samochodowych) jest:

- paliwo gazowe składające się ze składników palnych (CO, H₂) oraz balastu (CO₂, N₂, H₂O),
- pozostałość stała składająca się ze złomu stalowego (około 10% wag.) oraz popiołu (2% wag.).

Uzyskane paliwo gazowe może być paliwem podstawowym lub uzupełniającym dla celów grzewczych lub wytwarzania pary technologicznej, czy ciepłej wody użytkowej, przede wszystkim w zakładach generujących odpady gumowe, a także w szklarniach, suszarniach, odlewniach i w zakładach, w których w cenie finalnego produktu dużą wagę odgrywa koszt energii włożonej w proces produkcyjny.

Technologia zgazowania odpadów gumowych znajduje się w fazie eksperymentalnej. W ostatnich latach prace badawcze prowadzone są na instalacjach w Japonii i Stanach Zjednoczonych.

3. OPIS PROCESU ZGAZOWANIA ODPADÓW GUMOWYCH ZE SPALANIEM GAZU PROCESOWEGO

W Zakładzie Oszczędności Energii i Ochrony Powietrza GIG, opracowano technologię polegającą na zgazowaniu odpadów gumowych z wykorzystaniem powstałego gazu procesowego do celów energetycznych [1]. Przebieg procesu jest następujący: W warstwie odpadów gumowych, umieszczonych na ruszcie, pozwalającym na dopływ czynnika zgazowującego zawierającego tlen, a także na przepływ gazu przez tę warstwę powstają określone strefy w wyniku samomodelowania się procesu fizykochemicznego. Układ reagujący zawiera poza azotem tylko trzy główne składniki: węgiel, wodór i tlen. Siarka znajdująca się w odpadach nie odgrywa większej roli w ustalaniu się składu gazu. Proces zgazowania w odróżnieniu od procesu spalania przebiega z nadmiarem węgla. Można go opisać podstawowymi reakcjami chemicznymi zachodzącymi pomiędzy pierwiastkowym węglem i wodorem oraz nośnikiem tlenu lub powstającymi z nich gazami.

W procesie zgazowania można wyodrębnić dwie strefy reakcyjne:

- strefę spalania,
- strefę redukcji.

W strefie spalania zachodzą reakcje egzotermiczne:



Właściwe reakcje zgazowania (równania 3 i 4) są reakcjami endotermicznymi, zachodzącymi w strefie redukcyjnej. Palne gazowe produkty zgazowania pierwiastkowego węgla i wodoru z odpadów gumowych powstają głównie dzięki reakcjom redukcji z udziałem pary wodnej:

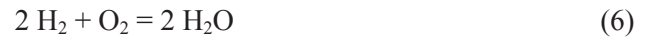


oraz dwutlenku węgla według reakcji redukcji Boudouarda:



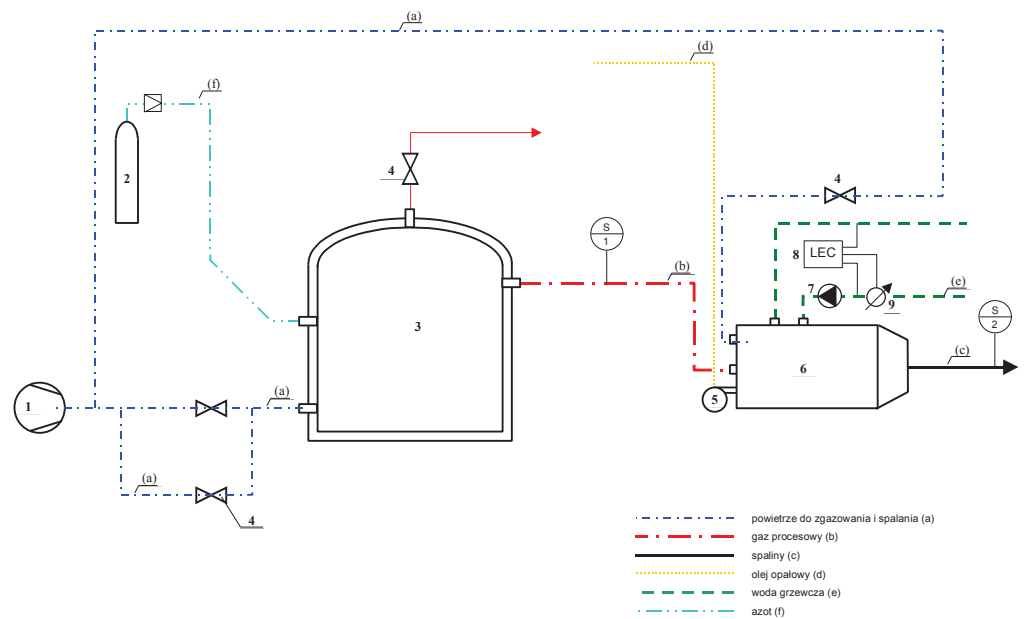
Uzyskany gaz procesowy spalany jest w kotle, a wytworzona energia cieplna, stanowiąca efekt termicznej utylizacji odpadów gumowych, wykorzystywana jest w celach grzewczych.

Spalanie produktów zgazowania przebiega według reakcji (5) i (6)



4. SCHEMAT TECHNOLOGICZNY INSTALACJI DO ZGAZOWANIA ODPADÓW GUMOWYCH I SPALANIA GAZU PROCESOWEGO

Badania przeprowadzono na instalacji w skali półtechnicznej, której schemat technologiczny przedstawiono na rysunku 1. Instalacja ma charakter prototypowo-pilotażowy i zastosowane rozwiązania konstrukcyjne wraz z aparaturą kontrolno-pomiarową podyktowane były minimalizacją nakładów inwestycyjnych.



Rys. 1. Schemat technologiczny instalacji do zgazowania odpadów gumowych z wykorzystaniem energii cieplnej do celów grzewczych wraz z rozmieszczeniem przekrojów pomiarowych: 1 – wentylator powietrza, 2 – butla z azotem i reduktorem, 3 – reaktor do zgazowania, 4 – zawór bezpieczeństwa, 5 – palnik olejowy pilotowy, 6 – komora spalania, 7 – pompa obiegowa, 8 – licznik energii cieplnej, przepływomierz, (a) – powietrze do zgazowania i spalania, (b) – gaz procesowy, (c) – spaliny, (d) – olej opałowy, (e) – woda grzewcza, (f) – azot

Fig. 1. Technological scheme of installation for rubber waste gasification with the use of thermal energy for heating purposes, along with the distribution of measuring cross-cuts: 1 – air fan, 2 – nitrogen cylinder and , 3 – gasification reactor, 4 – safety valve, 5 – pilot oil burner, 6 – combustion chamber, 7 – circulating pump, 8 – thermal energy meter, flow meter, (a) – air for gasification and combustion, (b) – process gas, (c) – flue gas, (d) – fuel oil, (e) – heating water, (f) – nitrogen

Instalacja zlokalizowana jest w Przedsiębiorstwie JUPOL znajdującym się na terenie przemysłowym dawnej Huty Bobrek w Bytomiu. Działalność przemysłowo-technologiczną przedsiębiorstwa stanowi:

- obróbka mechaniczna,
- wykonawstwo konstrukcji metalowych,
- złomowanie pojazdów samochodowych.

Instalacja do zgazowania odpadów zlokalizowana jest w pomieszczeniu technologicznym – kuźni znajdującej się w hali produkcyjnej na terenie przedsiębiorstwa (rys. 2)

Proces zgazowania jest periodyczny. Nominalna wydajność instalacji wynosi 400 kg odpadów gumowych na szarzę.

4.1. Opis urządzeń wchodzących w skład instalacji do zgazowania odpadów gumowych

Reaktor

Reaktor zaprojektowany został w formie pionowego walca z płaszczem wyłożonym wykładziną termiczną (fot. 1). Od góry zamknięty jest klapą bezpieczeństwa, z boku wyposażony jest w szczelne drzwi służące do wprowadzania odpadów gumowych. W dolnej części reaktora znajduje się rurociąg doprowadzający powietrze, powyżej którego zamocowany jest płaski ruszt z utylizowanym odpadem.

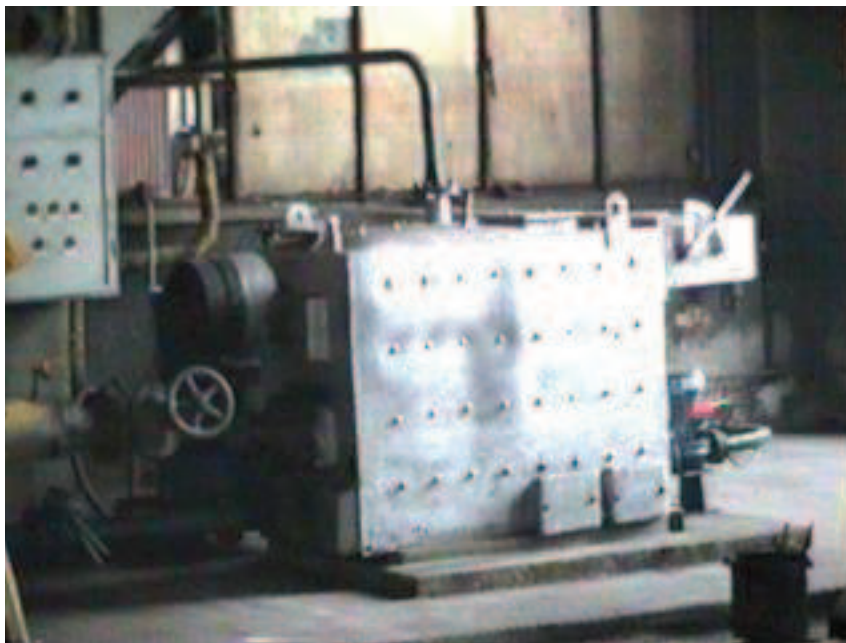


Fot. 1. Reaktor do zgazowania odpadów gumowych

Phot. 1. Reactor for rubber waste gasification

Kocioł odzysknicowy

W kotle następuje spalanie gazu z procesu zgazowania oraz przekazanie energii cieplnej mediom grzewczym. Zainstalowany jest w nim olejowy palnik pilotowy, inicjujący proces spalania i podtrzymujący płomień w komorze spalania oraz kolektory doprowadzające gaz procesowy i powietrze do spalania. Spaliny odprowadzane są kolektorem bezpośrednio do emitora stalowego (fot. 2).



Fot. 2. Kocioł do spalania gazu procesowego

Phot. 2. Boiler for process gas combustion

Wentylator nawiewu

Wentylator służy do doprowadzenia powietrza niezbędnego do procesu zgazowania odpadów gumowych oraz powietrza do spalania gazu procesowego (fot. 3). Regulacja wydatku powietrza odbywa się przy użyciu przepustnic ręcznych.

Palnik pilotowy

Palnik pilotowy jest typowym palnikiem stosowanym w kotłach grzewczych. W instalacji zastosowano palnik olejowy o regulowanej mocy 10÷25 kW opalany olejem opałowym lekkim.

Butle z azotem

Butle z ciekłym azotem są stosowane w sytuacjach awaryjnych, gdy jest wymagane ugaszenie procesu zgazowania.



Fot. 3. Wentylator promieniowy doprowadzający powietrze do zgazowania odpadów i spalania gazu procesowego

Phot. 3. Centrifugal fan supplying air for waste gasification and process gas combustion

5. METODYKA POMIARÓW

5.1. Pomiary emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych ze spalania gazu procesowego

Pomiary stężeń i emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych przeprowadzono na podstawie norm [4, 5] i normy PN-G-04571:1998 w zakresie oznaczania zawartości pierwiastka węgla w pyłe oraz Zarządzenia [6].

Analizę zawartości węglowodorów alifatycznych i aromatycznych wykonano chromatografem gazowym VARIAN GC 3600 z detektorem FID.

Lokalizacja przekrojów pomiarowych

Pomiaru ciśnienia, aspiracji pyłu i poboru próbek gazu dokonano w istniejących przekrojach pomiarowych. Rozmieszczenie przekrojów pomiarowych w obrębie instalacji przedstawiono na rysunku 1.

5.2. Analiza składu stałych produktów procesu zgazowania odpadów gumowych

Produktami stałymi procesu zgazowania odpadów gumowych jest popiół oraz złom stalowy (kord opon samochodowych). Analizy składu produktów stałych wykonano w Akredytowanych Laboratoriach Głównego Instytutu Górnictwa. Poniżej przedstawiono zastosowaną aparaturę oraz metody oznaczeń produktów stałych procesu zgazowania.

Analiza popiołu:

- zawartość wilgoci analitycznej oraz popiołu określono analizatorem firmy LECO MAC-500, zgodnie z normą PN-G-04560:1998,
- zawartość siarki całkowitej i popiołowej określono analizatorem firmy LECO SC-132, zgodnie z normą PN-93/G-04514.17,
- zawartość pierwiastków H, N określono analizatorem firmy LECO CHN-600, zgodnie z normą PN-G-04571:1998,
- zawartość siarki pirytovej oraz siarczanowej określono zgodnie z normą PN-G-04582:1997,
- zawartość chloru określono zgodnie z normą PN-G-04534:1999,
- zawartość pierwiastka węgla określono analizatorem wykonanym w Przemysłowym Instytucie Elektroniki, zgodnie z normą PN-G-04571:1998.

Analiza składu metali w złomie stalowym:

- metodą spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP).

5.3. Analiza składu gazu procesowego

Podczas procesu zgazowania gaz procesowy aspirowano w celu określenia składu chemicznego, pod kątem zawartości części palnych wpływających na jego wartość opałową. Aspiracji dokonano w przekroju pomiarowym S1 (rys. 1).

Oznaczeń dokonano w akredytowanym Laboratorium Analiz Związków Organicznych GIG metodą chromatografii gazowej przy użyciu chromatografu gazowego Varian GC 3600 (detektor TCD i FID połączone szeregowo).

5.4. Badania warunków pracy

W celu określenia zgodności warunków pracy na stanowisku obsługi instalacji zgazowania odpadów gumowych na hali na terenie Przedsiębiorstwa JUPOL, z wymaganiami zawartymi w normach, przeprowadzono badania stężeń i natężeń czynników szkodliwych w zakresie:

- zapylenia,
- stężenia tlenu węgla i dwutlenku siarki,
- parametrów mikroklimatu umiarkowanego.

Badania stężenia pyłu

Badania wykonano metodą dozymetrii indywidualnej według norm [7, 8]. Próbki powietrza pobierano za pomocą pompki osobistych SKC mod. 224-52. W przypadku pyłu respirabilnego pompki wyposażone były w cyklon.

Pobieranie próbek i oznaczenie stężenia tlenu węgla i dwutlenku siarki

Próbki pobierano do worków tedlera i płuczek, zgodnie z wymaganiami zawartymi w procedurach i normach. Analizę próbek wykonano w akredytowanym Laboratorium Analiz Gazów GIG, gdzie oznaczono:

- tlenek węgla – metodą GC przy użyciu aparatu VARIAN GC-3600 z detektorem FID i kolumną kapilarną,
- dwutlenek siarki – metodą turbidymetryczną według PN-Z-04015-4.

Badania mikroklimatu umiarkowanego

Badania wykonano według normy PN-87/N-08016. Parametry mikroklimatu umiarkowanego na stanowiskach pracy określano za pomocą miernika środowiska cieplnego, produkcji OBR ZAP Łódź, w czasie zmiany roboczej.

5.5. Badania hałasu

Określano wpływ hałasu emitowanego z instalacji badawczej na klimat akustyczny w jej otoczeniu. Pomiary wykonano miernikami poziomu dźwięku typu 2236 i 2231 produkcji firmy Bruel&Kjaer.

6. PRZEBIEG BADAŃ

Procesowi utylizacji poddano opony samochodowe o masie 225 kg i składzie chemicznym przedstawionym w tablicy 1.

Tablica 1. Parametry odpadów gumowych poddanych procesowi termicznej utylizacji

Wyszczególnienie	Wartość
wilgoć, %	0,83
popiół, %	5,11
węgiel, %	82,41
wodór, %	6,80
azot, %	0,79
siarka całkowita, %	1,85
ciepło spalania, kJ/kg	36 860
wartość opałowa, kJ/kg	35 355

Badania nad zgazowaniem odpadów gumowych składały się z następujących etapów:

- Załadunek reaktora odpadami gumowymi – oponami samochodowymi o masie 225 kg.
- Uruchomienie palnika pilotowego w komorze spalania (kocioł odzysknicowym) oraz otwarcie przepustnicy w celu doprowadzenia powietrza do spalania paliwa pomocniczego (olej opałowy).
- Inicjacja fazy spalania odpadów za pomocą materiałów rozpałkowych.
- Uruchomienie wentylatora, doprowadzającego powietrze do procesu zgazowania, przy pełnym otwarciu przepustnic powietrza:
 - w przekroju pomiarowym S2 dokonano pomiaru emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych (faza inicjacji procesu).

- Zmniejszenie ilości powietrza dostarczanego do reaktora (w momencie uzyskania temperatury w reaktorze 300 °C) poprzez ręczne przemykanie przepustnic, a następnie zwiększanie ilości powietrza doprowadzanego do kotła w celu spalania gazu procesowego (faza zgazowania). W fazie zgazowania:
 - wykonano pomiary emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych,
 - pobrano próbki gazu procesowego.
- Chłodzenie reaktora powietrzem do zgazowania po zakończeniu procesu utylizacji odpadów (temperatura w reaktorze poniżej 200 °C).
- Usunięcie stałej pozostałości po zgazowaniu z reaktora, przy czym:
 - złom stalowy o masie 35,4 kg poddano analizie pierwiastkowej,
 - popiół o masie 11,8 kg poddano analizie fizykochemicznej.

7. WYNIKI POMIARÓW

7.1. Emisja zanieczyszczeń pyłowo-gazowych ze spalania gazu procesowego

Wyniki analiz składu chemicznego gazu procesowego, stanowiącego gazowy produkt zgazowania odpadów gumowych przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Skład gazu procesowego

Wyszczególnienie	Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3
CO, %	21,24	20,91	16,8
H ₂ , %	1,96	1,81	0,95
CH ₄ , %	0,07	0,08	0,04
C _n H _n , %	0,01	0,02	0,01
O ₂ , %	2,2	2,4	6,4
CO ₂ , %	5,9	5,1	4,9
N ₂ , %	68,6	69,7	70,9
wartość opałowa, kJ/m ³	2930	2884	2249

Zgodnie z „Prawem o odpadach” z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. Nr 62) instalacja do termicznej utylizacji odpadów gumowych musi spełniać wymagania stawiane spalarniom odpadów komunalnych, przez które rozumie się urządzenia techniczne używane do spalania odpadów komunalnych, odpadów podobnych do komunalnych innych niż niebezpieczne lub gazowych produktów pirolizy tych odpadów.

Zbiorcze zestawienie wyników pomiarów emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych zestawiono w tablicy 3.

W tablicy 4 zawarto porównanie ilości normowanych substancji zanieczyszczających z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu Ministra

Środowiska z dnia 30 lipca 2001 r. „w sprawie wprowadzania do powietrza substancji zanieczyszczających z procesów technologicznych i operacji technicznych”.

Tablica 3. Stężenia i wielkość emisji zanieczyszczeń z emitora instalacji termicznej utylizacji odpadów gumowych

Wyszczególnienie	Faza spalania (rozruch)		Faza zgazowania					
	stężenie mg/m ³	emisja kg/h	pomiar 1		pomiar 2		pomiar 3	
			stężenie mg/m ³	emisja kg/h	stężenie mg/m ³	emisja kg/h	stężenie mg/m ³	emisja kg/h
pył całkowity	329,3	0,1681	120,3	0,0466	143,5	0,0573	130,2	0,0536
CO	85,6	0,044	61,9	0,024	63,8	0,025	66,3	0,027
NO _x ¹⁾	152,8	0,078	110,6	0,043	111,2	0,044	104,5	0,043
SO ₂	2133,6	1,089	1999,1	0,774	1952,0	0,779	1746,0	0,719
węglowodory aromatyczne	0,021	0,011 ²⁾	0,012	0,005 ²⁾	0,009	0,004 ²⁾	0,010	0,004 ²⁾
węglowodory alifatyczne	0,062	0,032 ²⁾	0,028	0,011 ²⁾	0,027	0,011 ²⁾	0,031	0,013 ²⁾
chlorki Cl ⁻			21,2	0,008	18,2	0,007	23,4	0,010
węgiel elementarny			9,6	0,004	11,5	0,005	14,1	0,006

¹⁾ NO_x – 100% NO

²⁾ g/m³

Tablica 4. Porównanie ilości substancji zanieczyszczających ze spalania odpadów w mg/m³ w suchych gazach odlotowych w warunkach normalnych, przy zawartości 11% tlenu w spalinach z wartościami dopuszczalnymi

Wyszczególnienie	Wartość uśredniona z trzech serii pomiarowych	Wartość dopuszczalna ¹⁾
pył całkowity	193	200
tlenek węgla	94	100
węgiel elementarny	15	20
chlorowódor	31	250
dioksyny i furany	nie oznaczono	0,1 ²⁾

¹⁾ wartość dopuszczalna dla zdolności przerobowej spalarni mniejszej niż 1 Mg odpadów w ciągu godziny,

²⁾ g/m³

Wszystkie normowane substancje, z wyjątkiem nieoznaczonych dioksyn i furanów, które będą przedmiotem odrębnych badań, nie przekraczają dopuszczalnych norm.

W celu określenia wpływu wszystkich emitowanych substancji na stan środowiska, zgodnie z Ustawą z dnia 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. nr 62 z dnia 20 czerwca 2001 r., poz. 627) oraz Rozporządzeniem z dnia 3.09.1998 r. w sprawie metod obliczania zanieczyszczenia powietrza dla źródeł istniejących i projektowanych (Dz.U. nr 122, poz. 805) wykonano obliczenia rozprzestrzeniania się wszystkich zanieczyszczeń, tj. normowanych i pozostałych oznaczonych w gazach odlotowych oraz dokonano porównania emisji zanieczyszczeń z wartościami dopuszczalnymi określonymi w Rozporządzeniu MOŚZNiL z dnia 28.04.1998 r. w sprawie

dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających powietrze (Dz.U. nr 55, poz. 355).

W tabelicy 5 zestawiono wartości dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń w powietrzu dla substancji emitowanych przez emitory instalacji.

Tabela 5. Dopuszczalne wartości stężeń pyłu w powietrzu

Wyszczególnienie	Stężenie, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	30 min.	roczne
pył zawieszony PM10	280	50
SO ₂	500	40
NO ₂	500	40
CO	20000	2000
węgiel elementarny	150	8
węglowodory alifatyczne	3000	1000
węglowodory aromatyczne	1000	43
chlorowodór	200	25

Obliczenia rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń przeprowadzono za pomocą programu „KOMIN” atest IOS nr NP/144/86 z dnia 21.11.1986 r.

Wyniki obliczeń rozprzestrzeniania oraz porównanie wartości stężeń maksymalnych chwilowych i średniorocznych z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi przedstawiono na zestawieniu zbiorczym w tabelicy 6.

Tabela 6. Wyniki obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń pyłowo-gazowych

Zanieczyszczenie	0,8 D _{30-R} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dop.	S _{mm} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	D _{30-R} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dop.	S _{xm} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	S _{99,8} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$	D _{a-R} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dop.	S _a , $\mu\text{g}/\text{m}^3$
pył zawieszony PM 10	156	21,4	212	21,3	1,5	< 0	0,01
SO ₂	364	275,7	464	275,3	36,7	4	0,21
NO ₂	365	30,0	465	30,0	3,3	5	0,02
CO	14730	10,9	18730	10,9	1,3	730	0,01
węgiel elementarny	120	4,1	150	4,1	0,3	8	0,002
węglowodory alifatyczne	2400	0,8x10 ⁻⁵	3000	0,008	0,001	1000	<0,001
węglowodory aromatyczne	800	0,3x10 ⁻⁵	1000	0,003	<0,001	43	<0,001
chlorowodór	160	2,7	200	2,7	0,2	25	0,001

Instalacja zgazowania odpadów gumowych ze spalaniem powstałego gazu procesowego spełnia warunki i wymagania w zakresie emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych do powietrza.

7.2. Analiza składu produktów stałych procesu zgazowania odpadów gumowych

Po zakończeniu procesu zgazowania odpadów gumowych o łącznej masie 225 kg z reaktora usunięto pozostałości stałe, będące w myśl Prawa o odpadach z dnia 27

kwietnia 2001 r. (Dz.U. Nr 62 – poz. 628) „odpadami z termicznego przekształcania odpadów”, w postaci:

- złomu stalowego (kod 19 01 02) o masie 35,4 kg,
- popiołu paleniskowego (kod 19 01 12) o masie 11,8 kg.

Analiza składu pierwiastkowego złomu stalowego

Analiza składu chemicznego kordu stalowego, której wyniki przedstawiono w tablicy 7, potwierdza możliwość wykorzystania w procesach metalurgicznych.

Tablica 7. Skład metali w złomie stalowym, stanowiącym produkt zgazowania opon samochodowych

Wyszczególnienie	Zawartość
Fe, %	98,0000
Cr, %	0,0414
Cu, %	0,5285
Mn, %	1,2650
Mo, %	0,0035
Ni, %	0,0513
Pb, %	0,0038
Zn, %	0,3033

Analiza składu fizykochemicznego popiołu

Zgodnie z Prawem o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. Nr 62 – poz. 628) oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, popioły i żużle powstałe w wyniku termicznej utylizacji odpadów gumowych nie stanowią odpadu niebezpiecznego i deponowane mogą być na składowiskach odpadów komunalnych jako materiał inertny. Udział popiołu w masie opon poddanych termicznej utylizacji stanowi około 5%. Wyniki analizy składu fizykochemicznego przedstawiono w tablicy 8.

Tablica 8. Wyniki analizy składu fizykochemicznego popiołu paleniskowego powstałego ze zgazowania odpadów gumowych

Wyszczególnienie	Zawartość
wilgoć, %	0,25
popiół, %	90,20
siarka całkowita, %	3,16
siarka pirytowa, %	0,13
siarka siarczanowa, %	2,86
siarka popiołowa, %	2,56
siarka palna, %	0,60
siarka organiczna, %	0,17
chlor, %	0,88
węgiel, %	9,80
wodór, azot, tlen, %	0,0

7.3. Wyniki badań warunków pracy

Oznaczenia stężenia pyłu całkowitego i respirabilnego

Badania stężenia pyłu całkowitego i respirabilnego przeprowadzono na stanowiskach obsługi instalacji zgazowania odpadów gumowych. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 9.

Tablica 9. Wyniki pomiarów stężeń pyłu w środowisku pracy

Wydział-stanowisko okoliczności pomiaru	Stężenie pyłu mg/m ³	
	całkowity	respirabilny
instalacja zgazowania – <u>aparatomy 1</u> prace przygotowawcze, załadunek reaktora, ustalenie parametrów, nadzór nad przebiegiem próby, rozładunek reaktora, prace porządkowe	1,56	0,26
instalacja zgazowania – <u>aparatomy 2</u> prace przygotowawcze, załadunek reaktora, ustalenie parametrów, nadzór nad przebiegiem próby, rozładunek reaktora, prace porządkowe	0,67	0,31

Ocenę higieniczną stanowisk pracy przeprowadzono zgodnie z Rozporządzeniem MPiPS z dnia 17.06.1998 r. i 2.01.2001 r. oraz normą PN-89/Z-04008/07. Obliczone wyniki w formie wskaźników ekspozycji oraz obowiązujące wartości NDS zestawiono w tabelicy 10.

Tablica 10. Ocena higieniczna stanowiska pracy, dotycząca pyłu

Nazwa czynnika	Stanowisko	Zawartość wolnej krzemionki krystalicznej, %	NDS, mg/m ³		W ¹⁾ , mg/m ³		W/NDS
			Pył całkowity	Pył respirabilny	Pył całkowity	Pył respirabilny	
nietrujące pyły przemysłowe, w tym zawierające wolną krzemionkę krystaliczną poniżej 2%	Aparatomy 1	poniżej oznaczenia	10,0	–	1,56	0,26	0,15
	Aparatomy 2	poniżej oznaczenia	10,0	–	0,67	0,31	0,067

¹⁾ Wartości zmierzone.

W dniu pomiarów nie stwierdzono przekroczeń stężeń pyłu w stosunku do obowiązujących wartości NDS.

Oznaczenia stężenia tlenku węgla i dwutlenku siarki

Wyniki analiz próbek powietrza ze stanowiska obsługi instalacji do zgazowania odpadów gumowych pobrano w dniu 26.10.2001 r. Ocenę higieniczną stanowisk

pracy przeprowadzono zgodnie z rozporządzeniem MPiPS z dnia 17.06.1998 r. i 2.02.2000 r. oraz normą PN-89/Z-04008/07. Obliczone wyniki w formie wskaźników ekspozycji oraz wartości NDS zestawiono w tabelicy 11.

Tabelica 11. Ocena higieniczna stanowiska pracy, dotycząca CO i SO₂

Stanowisko	Substancja	Wartości dopuszczalne mg/m ³			W ¹⁾ , mg/m ³	$\frac{W^{1)}}{NDS}$
		NDS	NDSch	NDSP		
Aparatowy 1	Tlenek węgla	30,0	180,0	-	1,25	0,04
Aparatowy 2	Dwutlenek siarki	2,0	5,0	-	0,25	0,125

¹⁾ Wartości zmierzone.

$$\text{Wskaźnik łączny: } \Sigma \frac{W}{NDS} \text{ aparatowy 1 i 2} = 0,165$$

Z przedstawionych danych i obliczeń wynika, że w dniu pomiarów na stanowiskach pracy nie stwierdzono przekroczenia obowiązujących dopuszczalnych stężeń badanych substancji chemicznych.

Badania mikroklimatu umiarkowanego

Badania przeprowadzono na stanowiskach zlokalizowanych w pomieszczeniu w którym znajduje się instalacja badawcza. Wyniki badań przedstawiono w tabelicy 12.

Tabelica 12. Wyniki badań mikroklimatu umiarkowanego na stanowiskach pracy przy instalacji termicznej utylizacji odpadów gumowych

Wyszczególnienie	Wartości		
	1 góra	2 środek	3 dół
oddział/stanowisko	instalacja badawcza – aparatowy 1 i 2		
ciepłochronność odzieży, clo	–	120	–
metabolizm, W/m ²	–	0,7	–
przewidywana średnia ocena PMV	–	0,33	–
przewidywany procent niezadowolonych PPD	–	7	–

Ocenę higieniczną stanowisk pracy przeprowadzono zgodnie z normą PN-85/N-08013 „Środowiska termiczne umiarkowane. Określenie wskaźników PMV i PPD i wymagań dotyczących komfortu cieplnego”. Wyznaczane wskaźniki PMV (przewidywana średnia ocena) i PPD (przewidywany procent niezadowolonych) charakteryzują odczucia termiczne i określają w jakim stopniu zapewniony jest komfort termiczny na stanowisku pracy lub w pomieszczeniu. Zaleca się, aby wskaźnik PPD był niższy niż 10 %, co odpowiada kryterium dla PMV:

$$-0,5 < PMV < +0,5$$

Z danych zawartych w tabelicy 12 wynika, że na stanowiskach na których przeprowadzono badania, w dniu pomiarów wskaźniki PPD i PMV mieściły się w zalecanych granicach.

7.4. Wyniki badań hałasu

W zakresie ochrony akustycznej podstawę oceny dopuszczalnego poziomu hałasu na terenie o określonym charakterze zagospodarowania stanowi Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13 maja 1998 roku (Dz.U. Nr 66 poz. 436). Dotyczy ono wartości równoważnego poziomu dźwięku, który występuje w godzinach pomiędzy 6⁰⁰–22⁰⁰ oraz 22⁰⁰–6⁰⁰.

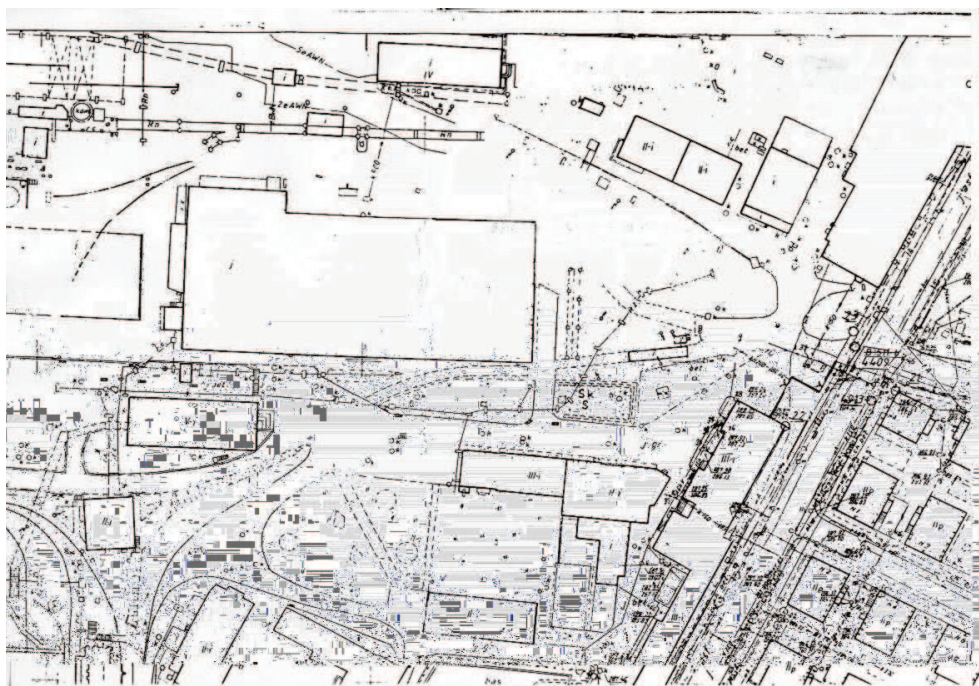
O klasyfikacji danego terenu decydują lokalne plany zagospodarowania przestrzennego oraz decyzje organów administracji państwowej. W rozpatrywanym przypadku przyjęto dla najbliższych terenów chronionych – punkt 3a tablicy 1 załącznika do Rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa – następujące dopuszczalne równoważne poziomy dźwięku:

- w porze dziennej 50 dB,
- w porze nocnej 40 dB.

Pomiary wykonano w porze dziennej i nocnej miernikami poziomu dźwięku typu 2236 i 2231 produkcji firmy Bruel & Kjaer umieszczonymi każdorazowo na statywie, na wysokości około 1,5 metra od powierzchni gruntu. Punkty pomiarowe, których lokalizację przedstawiono na rysunku 2 znajdowały się:

- na granicy terenu zajmowanego przez Zakład – punkt 1,
- na granicy terenów podlegających ochronie – budynek nr 5 przy ulicy Konstytucji, punkt pomiarowy 2.

W każdym punkcie dokonano kilku serii pomiaru wartości równoważnego poziomu dźwięku A. Czas pojedynczego pomiaru zależał od możliwości wyeliminowania wpływu zakłóceń zewnętrznych (tła pomiarowego) spowodowanych głównie ruchem samochodów po ulicy Konstytucji. Emisja hałasu do środowiska zewnętrznego odbywa się przez ścianę wschodnią, z pozostałych stron do pomieszczenia instalacji przylegają hale produkcyjne.



Rys. 2. Wyniki badań uciążliwości akustycznej: A – hala produkcyjna, B – lokalizacja instalacji, rejon źródła hałasu, C – tereny podlegające ochronie, D – granica Zakładu, 1, 2 – punkty pomiarowe

Fig. 2. Results of acoustic nuisance tests: H – production hall, B – localization of installation, noise source area, C – areas subject to protection, D – plant's boundary, 1, 2 – measuring points

Poziom dźwięku A w punktach emisji jest wypadkową wynikającą z propagacji fali akustycznej od źródeł rzeczywistych i pozornych. W obliczeniach uwzględniono poprawki na wpływ: odległości, ekranowania, pochłaniania przez powietrze, kierunku źródła.

Wyniki pomiarów:

- $L_{A,eq}$ – poziomu równoważnego dla określonego czasu pomiaru, (uśrednione dla kilkunastu pomiarów cząstkowych),
- $L_{A,max}$ – maksymalnego poziomu dźwięku w czasie działania hałasu, dla którego określono $L_{A,eq}$ – przestawiono w tablicy 13.

Tablica 13. Wyniki pomiarów poziomu dźwięku A emitowanego do środowiska zewnętrznego

Warunki prowadzenia pomiarów	Zmierzony poziom $L_{A,eq}$, dB(A)	Zmierzony poziom $L_{A,max}$, dB(A)
Granica Zakładu – punkt pomiarowy 1 – w czasie pracy wszystkich źródeł	49,6	55,2

Granica terenów chronionych – punkt pomiarowy 2 – w czasie pracy wszystkich źródeł	41,3	45,6
--	------	------

Wzajemną lokalizację przyjętych punktów obliczeniowych wraz z naniesioną izofoną 50 dB dla pory dziennej, przedstawiono na rysunku 2.

Na terenach podlegających ochronie akustycznej znajdują się budynki mieszkalne przy ulicy Konstytucji, odległe od rozpatrywanej hali o około 180 m w kierunku wschodnim.

Poziom równoważny dźwięku A emitowany przez instalację, dla ośmiu najbardziej niekorzystnych godzin dnia, na tym terenie (punkt nr 1) wynosi około 41 dB(A) i nie przekracza wartości dopuszczalnej 50 dB(A) w porze dziennej. Na poziom hałasu w rejonie najbliższej zabudowy mieszkaniowej, oprócz jego tłumienia związanego ze wzrostem odległości, ma także ekranujący wpływ istniejącego obiektu przylegającego do rozpatrywanej hali.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że działalność instalacji nie powoduje występowania uciążliwości akustycznych w środowisku zewnętrznym.

Izolinia poziomu dopuszczalnego 50 dB(A) ogranicza obszar niestanowiący terenów podlegających ochronie.

8. WNIOSKI

1. Proces termicznej utylizacji 225 kg odpadów gumowych (opon samochodowych), przez ich zgazowanie ze spalaniem powstałego gazu procesowego w kotle grzewczym umożliwił redukcję masy odpadów o około 95%.
2. W wyniku zgazowania 225 kg opon samochodowych odzyskano 35,4 kg złomu stalowego, do wykorzystania w procesie metalurgicznym.
3. Analizowany proces termicznej utylizacji odpadów gumowych zapewnia dotrzymanie dopuszczalnych norm emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych, spełnia wymagania określone w Rozporządzeniu MOŚZNiL z dnia 28.04.1998 r. „w sprawie dopuszczalnych wartości stężeń substancji zanieczyszczających powietrze” w zakresie rozprzestrzeniania się w powietrzu zanieczyszczeń normowanych i pozostałych oznaczonych w gazach odlotowych. W celu dopuszczenia badanej instalacji do przemysłowego stosowania technologia wymaga wykonania pomiarów emisji dioksyn i furanów, i porównania z wartościami normatywnymi.
4. Przeprowadzone badania warunków pracy przy instalacji zgazowania odpadów gumowych:
 - w zakresie stężeń pyłu całkowitego, pyłu respirabilnego, tlenku węgla i dwutlenku siarki, wykazały dotrzymanie wartości NDS określonych w Rozporządzeniu MPiPS z dnia 17.06.1998 r i 2.01.2001 r.,

- w zakresie komfortu termicznego na stanowisku pracy mieszczą się w zalecanym zakresie – PMV = 0,33 (–0,5÷ +0,5), PPD = 7% (<10%)
- 5. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że działalność instalacji nie spowoduje wystąpienia uciążliwości akustycznych w środowisku zewnętrznym. Poziom równoważny dźwięku A emitowany przez instalację, dla ośmiu najbardziej niekorzystnych godzin dnia, na tym terenie (punkt nr 1) wynosi około 41 dB(A) i nie przekracza wartości dopuszczalnej 50 dB(A), w porze dziennej.

Literatura

1. Ćwięczek M.: *Bilans substancjalny i energetyczny procesu zgazowania odpadów gumowych*. Opracowanie układu kontrolno-pomiarowego do instalacji badawczej. Dokumentacja nr 15403000-321. Katowice, GIG 2000.
2. Ćwięczek M.: *Wpływ procesu zgazowania odpadów gumowych na emisję zanieczyszczeń do środowiska na instalacji badawczej*. Dokumentacja nr 15401001-321. Katowice, GIG 2001.
3. Devaux M.: *Energy Reclamation from Scrap Tyres*. Proceedings of the Tyre Recycling Conference. Bruksela 1996.
4. PN-94/04030/07 Pomiar stężenia i strumienia masy pyłów w gazach odlotowych metodą grawimetryczną.
5. PN-92/Z-04225.03 Badania zawartości chlorowodoru. Oznaczanie chlorowodoru metodą turbidymetryczną z pobieraniem próbek do płuczek.
6. Zarządzenie nr 69 GIOŚ z dnia 14.08.1992r. w sprawie wykonania pomiarów emisji zanieczyszczeń gazowych przenośnymi analizatorami spalin w zakresie emisji gazów odlotowych.
7. PN-91/Z-04030.05 Oznaczenie pyłu całkowitego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową.
8. PN-91/Z-04030.06 Oznaczenie pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową.
9. Pyskło L., Parasiewicz W.: *Systemy utylizacji odpadów gumowych. Spalanie opon źródłem energii*. Piastów, IPG Stomil 1998.
10. Shaw D.: *Scrap Tyres: „Not a problem”*. European Rubber Journal 1998 nr 9, 24.

Recenzent: dr inż. Barbara Białicka