

Michał KUBECKI

DOBÓR WARUNKÓW PROWADZENIA PROCESU TERMICZNEGO ROZKŁADU GUMY STYRENOWO BUTADIENOWEJ, GŁÓWNEGO SKŁADNIKA OPON SAMOCHODOWYCH, NA POTRZEBY ANALIZY ZWIĄZKÓW Z GRUPY BTEX UWALNIANYCH TRAKCIE TEGO ROZKŁADU

Stale zaostrzające się przepisy dotyczące gospodarowania odpadami, inicjują poszukiwania wydajnych i przyjaznych środowisku naturalnemu metod ich przerabiania i unieszkodliwiania. Opracowywane technologie powinny być bezpieczne zarówno dla pracowników jak i dla środowiska. Z tego względu, zasadne jest tworzenie systemu monitorowania tych procesów i identyfikowanie etapów, w trakcie których mogą powstawać szkodliwe związki organiczne. Bardzo poważny problem stanowi składowanie zużytych opon samochodowych. Wymusza on poszukiwanie wydajnego i przyjaznego środowisku naturalnemu sposobu ich przerabiania i unieszkodliwiania. Obecnie za najbardziej korzystne ekonomicznie rozwiązanie, uważa się wykorzystanie do unieszkodliwiania zużytych opon samochodowych procesów termicznego rozkładu. W wyniku działania na gumę wysokiej temperatury następuje rozkład usieciowanego elastomeru styrenowo-butadienowego, co prowadzi do powstania związków niskocząsteczkowych między innymi z grupy BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny). Związki te uwalniane w formie gazowej oddziałują szkodliwie na środowisko naturalne i człowieka. Dlatego należałoby stworzyć odpowiednie zaplecze analityczne do kontroli i monitoringu uwalnianych w trakcie tego procesu związków organicznych. W związku z tym za cel pracy przyjęto stworzenie stanowiska laboratoryjnego do prowadzenia procesu termicznego rozkładu gumy styrenowo-butadienowej i analizę związków powstających w trakcie tego procesu. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów emisji związków BTEX podczas termicznego rozkładu próbek gumy styrenowo-butadienowej, prowadzonego w zakresie temperatury od 500°C do 1100°C.

Słowa kluczowe: piroliza, recykling opon, emisja, BTEX

SELECTION OF CONDITIONS FOR THERMAL DECOMPOSITION PROCESS OF STYRENE BUTADIENE RUBBER FOR BTEX COMPOUNDS ANALYSIS

Constantly stricter waste management regulations, initiate research focused on finding more efficient and environmentally friendly ways to recycle waste. Developed technologies should be safe both for employees and the environment. For this reason, it is advisable to create a system for monitoring these processes and identify the steps during which harmful organic compounds may form. A very serious environmental problem is the storage of used car tyres. It forces a search for an efficient and environmentally friendly way to recycle them. Currently, thermal decomposition processes are considered to be the most economically advantageous solution for the disposal of used car tyres. As a result of the effect of high temperature on rubber, the crosslinked styrene-butadiene elastomer is degraded, resulting in the formation of low molecular weight compounds, such as the BTEX group (benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes). These compounds, released in gaseous form, are harmful to the environment and humans. Therefore, appropriate analytical facilities for the control and monitoring of organic compounds released during this process should be created. The aim of the work was to create a laboratory stand for thermal decomposition of styrene-butadiene rubber and analysis of components formed during this process. The article presents the results of BTEX compounds emission measurements during thermal decomposition of styrene-butadiene rubber samples, conducted at the temperature range from 500°C to 1100°C.

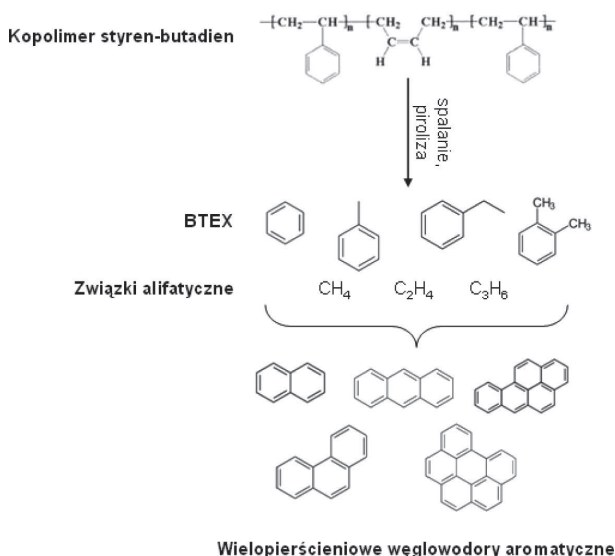
Keywords: pyrolysis, recycling of tyres, emission, BTEX

1. WPROWADZENIE

Szacuje się, że na świecie może powstawać rocznie około 1 mld zużytych opon samochodowych z czego w Europie liczba ta sięga 350 mln [1]. Stanowi to bar-

dzo poważny problem, który wymusza poszukiwanie wydajnego i przyjaznego środowisku naturalnemu sposobu ich przerabiania i unieszkodliwiania. Rozwiązaniem, które obecnie uważane jest za najbardziej korzystne ekonomicznie i, które pomaga zapobiec groma-

dzeniu opon na składowiskach, jest wykorzystanie do ich unieszkodliwiania procesów termicznego rozkładu. W wielu krajach opony stosuje się jako paliwo uzupełniające przede wszystkim w cementowniach, ale również w ciepłownictwie i energetyce jako dodatek do węgla [2]. W wyniku działania na gumę wysokiej temperatury następuje rozkład usieciowanego elastomeru styrenowo-butadienowego co prowadzi do powstania związków niskocząsteczkowych z grupy BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny) [3]. Związki te, w reakcjach wtórnych, mogą stanowić substrat do powstawania struktur bardziej złożonych w postaci wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych czy ich pochodnych (Rys. 1), które uwalniane w formie gazowej oddziałują szkodliwie na środowisko naturalne i człowieka.



Rys. 1. Rozpad struktury kopolimeru styren-butadien pod wpływem procesów termicznego rozkładu

Fig. 1. Disintegration of styrene-butadiene copolymer due to thermal decomposition processes

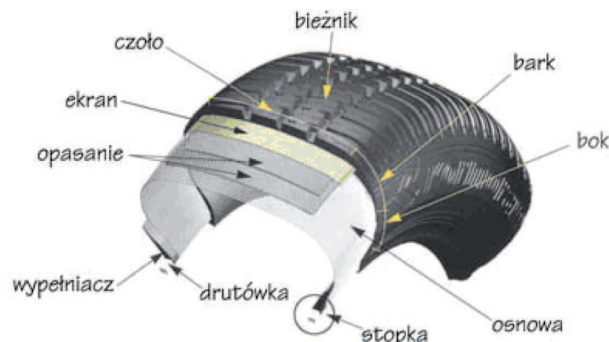
Ze względu na częste wykorzystywanie procesów wysokotemperaturowych do unieszkodliwiania opon i traktowania tegoż procesu za najbardziej obiecujący kierunek rozwoju recyklingu odpadów gumowych, istotne jest posiadanie szczegółowej wiedzy zarówno o warunkach tworzenia się szkodliwych związków organicznych, a także ich ilościach uwalnianych w trakcie tych procesów.

W celu określenia ilości związków z grupy BTEX tworzących się w trakcie pirolizy gumy, a następnie zdefiniowania charakterystycznego zakresu temperatury dla ich powstawania, zrealizowano badania, które podzielono na dwa etapy. Pierwszy obejmował wytypowanie na zużytych oponach samochodowych miejsc poboru materiału badawczego oraz uzyskanie jednorodnych próbek analitycznych. Drugi etap polegał na przeprowadzeniu na stanowisku laboratoryjnym, procesów termicznego rozkładu uzyskanych próbek analitycznych.

2. MATERIAŁ, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Jednym z podstawowych procesów umożliwiających przekształcenie zużytych opon samochodowych do for-

my pozwalającej na ich recykling jest ich rozdrobnienie. W wyniku rozdrobnienia otrzymuje się produkt zawierający gumę, włókna i w większości przypadków kawałki drutu stalowego. W celu wykorzystania tego produktu niezbędne jest oddzielenie włókien i metalu oraz segregacja rozdrobnionej gumy na frakcje o różnej wielkości ziaren i ewentualne dalsze rozdrabnianie. Przykładowy schemat budowy opony przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Budowa opony samochodu osobowego [4]

Fig. 2. Structure of a passenger car tyre [4]

Na potrzeby realizacji pracy pobrano próbki gumy, z trzech różnych miejsc opony samochodowej: bieżnika, opasania i boku (Rys. 3). Opasanie stanowi warstwa lub warstwy materiału umieszczone obwodowo pod bieżnikiem i usztywniające czoło opony, składające się najczęściej ze stalowego kordu pokrytego gumą. Materiał do badań z tej części opony pozyskano z firmy zajmującej się recyklingiem opon samochodowych, a w konsekwencji tego procesu otrzymywaniem kordu stalowego.

2.1. STANOWISKO BADAWCZE

Badania termicznego rozkładu gumy, zmierzające do określenia zakresu temperatury najbardziej charakterystycznego dla powstawania związków z grupy BTEX uwalnianych w trakcie tego procesu, prowadzono w skali laboratoryjnej w temperaturze 500°C, 700°C, 900°C i 1100°C. Stanowisko badawcze składało się z poziomego, kwarcowego reaktora rurowego, źródła gazu nośnego przepływającego przez reaktor, oraz kolumn z adsorbentem zainstalowanych u wylotu z reaktora. Każdorazowo po zakończeniu procesu termicznego rozkładu, związki zaadsorbowane na kolumnach poddawano procesowi ekstrakcji eterem dietylowym. Prowadzenie badań na tak zaprojektowanym układzie pozwoliło zaasymulowanie procesu pirolizy, który stanowi jeden z etapów procesu unieszkodliwiania gumy styrenowo-butadienowej.

2.2. PROGRAM ANALITYCZNY DO CHROMATOGRAFICZNEGO ROZDZIELENIA I IDENTYFIKACJI POWSTAJĄCYCH W PROCESIE PIROLIZY ZWIĄZKÓW Z GRUPY BTEX – ANALIZA JAKOŚCIOWA

Otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań ekstrakty analizowane były przy wykorzystaniu techniki chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią mas. Identyfikacja związków organicznych prowadzona była za pomocą układu złożonego z chromatografu gazowego Trace GC Ultra, wyposażonego w kapilarną



Rys. 3. Próbkę gumy: a) bieżnik, b) opasanie, c) bok opony
Fig. 3. Rubber samples: a) tread, b) steel belts, c) sidewall

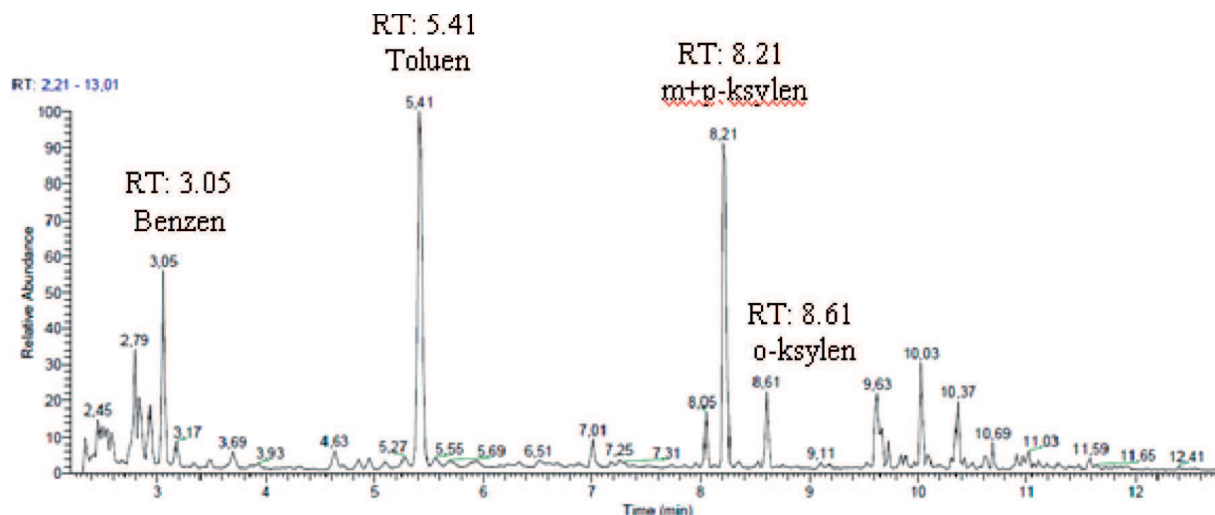
kolumnę chromatograficzną RTX 5MS (Restek), o długości 30 m i średnicy wewnętrznej 0,25 mm, a także spektrometru mas FINNIGAN MAT 95 XP (układ GC MS). Dla uzyskania prawidłowego rozdziału związków BTEX (należących do grupy lotnych związków organicznych) na kolumnie chromatograficznej RTX 5 MS, przyjęto warunki pracy układu GC MS przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe parametry pracy układu GC MS dla analizy związków BTEX (program semivoc_eterdiet_40st_rtx5)

Table 1. Basic parameters of the GC MS system for the analysis of compounds from the BTEX group, (semivoc_eterdiet_40st_rtx5 program)

Temperatura dozownika	200°C,
Tryb pracy dozownika	Split – z podziałem strumienia 1:63
Objętość dozowanej próbki	1 µl
Gaz nośny	Hel o czystości 5.0
Natężenie przepływu gazu nośnego	0,8 ml/min
Temperatura linii transferowej	220°C
Temperatura źródła jonizacji	220°C
Energia strumienia elektronów	70 eV
Program temperaturowy	40°C przez 6 minut 40÷220°C (21°C/min) 220÷260°C (20°C/min)
Napięcie na fotopowielaczu	1,8 kV

Przykładowy chromatogram, wraz z czasami retencji dla związków BTEX, uzyskany dla ekstraktu otrzymana-



Rys. 4. Chromatogram uzyskany w trakcie analizy ekstraktu (proces pirolizy w 700°C)

Fig. 4. Chromatogram obtained during the extract analysis (pyrolysis at 700°C)

nego po procesie pirolizy (temperatura procesu 700°C) próbki gumy pochodzącej z bieżnika opony, przedstawiono na rysunku 4.

2.3. ANALIZA ILOŚCIOWA ZWIĄZKÓW Z GRUPY BTEX

W trakcie oznaczeń związków z grupy BTEX stosowano metodę dodatku wzorca wewnętrznego. Zarówno do przygotowanych roztworów wzorcowych, jak i ekstraktów otrzymanych po procesach termicznego rozkładu badanych materiałów, dodawano taką samą ilość wzorca wewnętrznego – izotopowo znaczonego związku. Jako wzorec wewnętrzny w trakcie oznaczeń analitów z grupy BTEX stosowano dodatek 100 µl roztworu zawierającego znakowany deuterem toluen ($C_6D_5CD_3$, toluen- d_8). Analizę ilościową analitów obecnych w ekstraktach prowadzono w oparciu o schemat przedstawiony na rysunku 5.

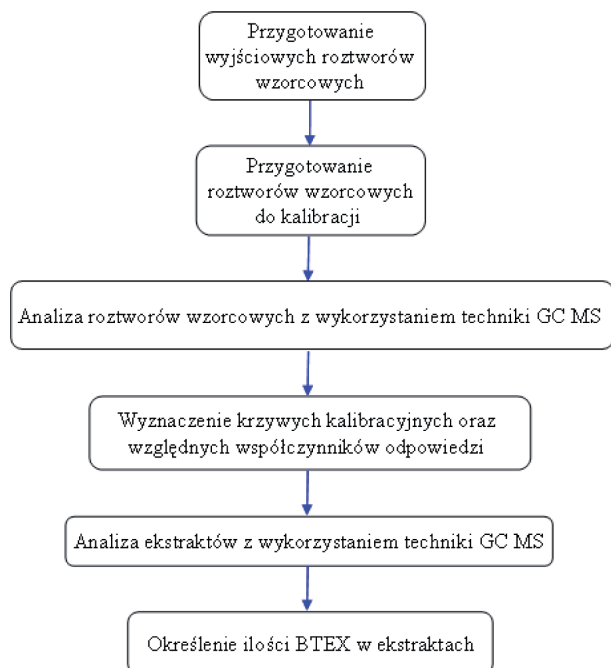
2.4. OPTYMALNE PARAMETRY PROWADZENIA PROCESU TERMICZNEGO ROZKŁADU GUMY STYRENOWO-BUTADIENOWEJ

W celu dobrania optymalnych¹ wartości parametrów etapu przygotowania próbki do analizy, przeprowadzono serie eksperymentów z zastosowaniem próbek gumy styrenowo-butadienowej, pobranych z opon samocho-

¹ pojęcie „optymalna wartość parametru”, w tym miejscu oznacza: wartość parametru pozwalającą uzyskać największą ilość związków BTEX emitowanych w danej temperaturze z badanego materiału

dowych. Rozkład gumy prowadzono na stanowisku o wymiarach reaktora rurowego wynoszących: 38 mm średnica zewnętrzna i 700 mm długość. Dla etapu związanego z przygotowaniem do analizy próbek, prowadzonego na laboratoryjnym stanowisku badawczym, jako parametry, których optymalne wartości należało wyznaczyć, wybrano:

- natężenie przepływu strumienia gazu nośnego przez reaktor,
- masę adsorbentu w kolumnach sorpcyjnych,
- objętość rozpuszczalnika stosowanego do ekstrakcji związków organicznych z kolumn sorpcyjnych,
- czas prowadzenia procesu termicznego rozkładu.



Rys. 5. Schemat przedstawiający postępowanie przy wyznaczaniu masy związków z grupy BTEX obecnych w ekstraktach, uzyskanych po procesach termicznego rozkładu badanych materiałów

Fig. 5. Diagram showing the procedure for determining the mass of compounds from the BTEX group contained in extracts, obtained after the processes of thermal decomposition of the tested materials

2.4.1. Natężenie przepływu strumienia gazu nośnego przez reaktor oraz minimalna masa adsorbentu

Jako natężenie przepływu gazu przez reaktor przyjęto 5 l/h. Przy objętości reaktora rurowego wynoszącej 661 cm³, natężenie to umożliwia całkowitą wymianę gazu w reaktorze w czasie 8 minut. Dla adsorpcji związków BTEX zastosowano węgiel aktywny oraz dobrano jego minimalną masę potrzebną do całkowitej adsorpcji związków BTEX uwalnianych do gazu nośnego w trakcie prowadzenia badań termicznego rozkładu. W tym celu próbkę gumy o masie około 50 mg umieszczano w nagrzanym do temperatury 700°C kwarcowym reaktorze rurowym. Wnętrze reaktora przepłukiwane było gazem nośnym (argon) przez czas 20 minut. Fragment aparatury odpowiedzialny za adsorpcję związków składał się z dwóch kolumn z adsorbentami: pierwszej (właściwej) i drugiej (kontrolnej). Dodatkowo kolumny te wyposażone zostały w dwie warstwy filtracyjne z waty szklanej umieszczonej przed i za złożem

adsorbentu. Na potrzeby analizy związków z grupy BTEX stosowano 300 mg adsorbentu (węgiel aktywny) w kolumnach wstępnych i 50 mg adsorbentu w kolumnach kontrolnych. Po zakończeniu termicznego rozkładu gumy styrenowo-butadienowej, kolumny wstępne i kontrolne umieszczano w statywach i przemywano 10 cm³ eteru dietylowego. Otrzymany ekstrakt poddawano analizie z wykorzystaniem techniki GC MS. Po analizie otrzymanych ekstraktów, nie stwierdzono na chromatogramach uzyskanych dla ekstraktów z kolumn kontrolnych pików charakterystycznych dla związków BTEX. Porównanie chromatogramów przedstawiono na rysunku 6.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że 300 mg węgla aktywnego stanowi wystarczającą ilość do adsorpcji związków BTEX w gazach powstających w trakcie termicznego rozkładu gumy. Ze względu na fakt, że ilość adsorbentu została wyznaczona tylko dla procesu prowadzonego w temperaturze 700°C, w trakcie badań w temperaturze 500°C, 900°C i 1100°C także stosowano kolumnę kontrolną i analizie poddawano ekstrakt z niej otrzymany. W żadnej z tych temperatur nie stwierdzono przebiccia kolumny wstępnej.

2.4.2. Objętość rozpuszczalnika oraz czas prowadzenia procesu termicznego rozkładu

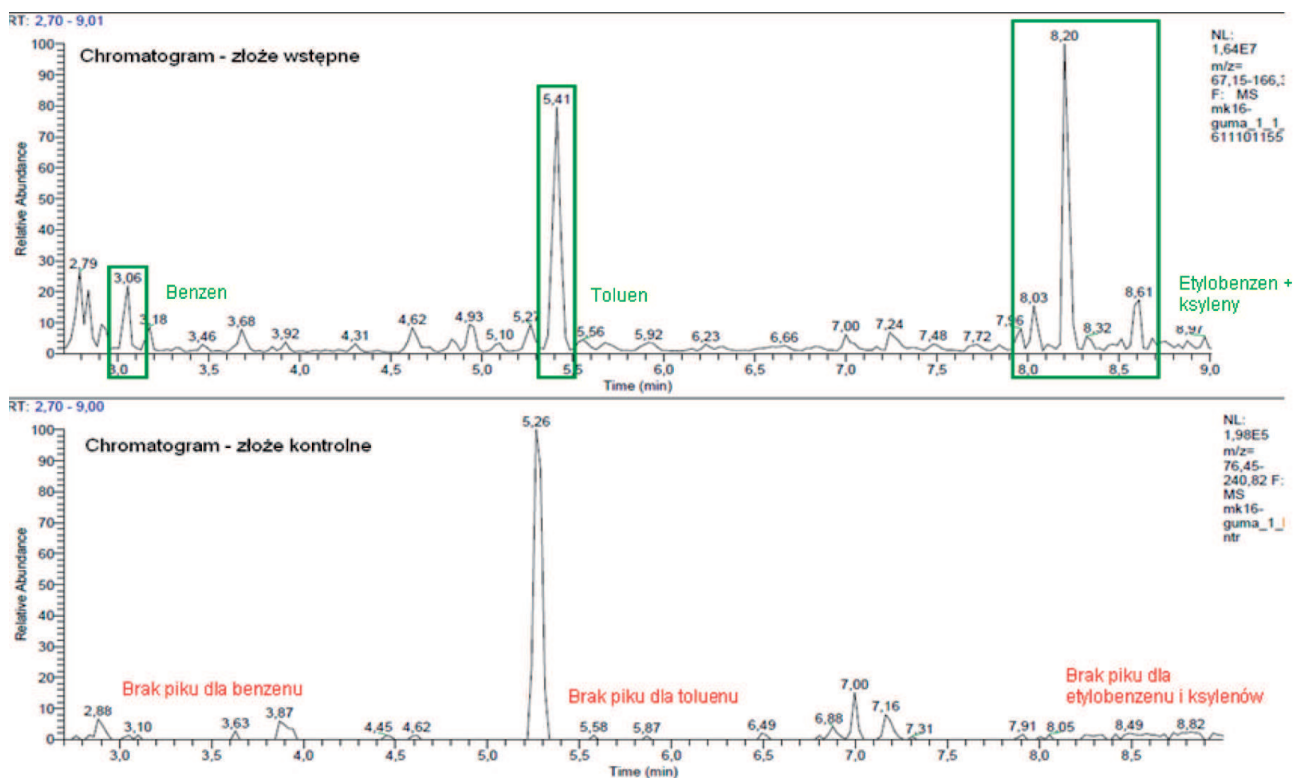
Równoległe z badaniami zmierzającymi do wyznaczenia masy adsorbentu prowadzono próby oszacowania objętości rozpuszczalnika niezbędnej do desorpcji BTEX-ów z kolumn z adsorbentem. Po eksperymencie opisanym w dziale 2.4.1, kolumny wstępne z węglem aktywnym umieszczano w statywie i przemywano pięcioma porcjami eteru dietylowego po 10 cm³ każda. Ekstrakty odbierano do kolb o objętości 10 cm³. Każdą porcję ekstraktu analizowano z wykorzystaniem techniki GC MS. W efekcie porównania otrzymanych wyników stwierdzono, że masa związków BTEX w czwartym ekstrakcie, nie przekracza 4% sumy mas z ekstraktów 1, 2 i 3. Dlatego za objętość wystarczającą do ekstrakcji BTEX ze złoża wstępnego rurek sorpcyjnych przyjęto 30 cm³ eteru dietylowego.

W celu określenia optymalnego czasu przepłukiwania wnętrza reaktora gazem nośnym, przeprowadzono termiczny rozkład próbki gumy (pobrana z opasania), trwający odpowiednio – 5, 10, 20 i 30 minut. Średnia masa próbek gumy wynosiła 50 mg. Szczegółowe dane dotyczące sumy mas benzenu i toluenu uwalnianych z próbki w trakcie jej rozkładu, w przeliczeniu na 1 gram próbki i ilości stosowanego adsorbentu, zamieszczono w tabeli 2.

Badania wykazały, że czas 5 minut nie jest wystarczający do całkowitego wydzielenia sumy benzenu i toluenu z gumy w temperaturze 500°C. Natomiast po czasie wygrzewania dłuższym niż 10 minut nie zaobserwowano znacznego wzrostu sumy mas tych związków w przeliczeniu na 1 gram próbki. Postanowiono, za optymalny czas prowadzenia procesu termicznego rozkładu próbek gumy przyjąć 10 minut.

2.5. ANALIZA ILOŚCIOWA ZWIĄZKÓW BTEX UWALNIANYCH W TRAKCIE PIROLIZY BADANYCH MATERIAŁÓW

Oznaczenia związków organicznych z grupy BTEX, emitowanych w trakcie termicznego rozkładu gumy, w ekstraktach na bazie eteru dietylowego, wykonano wy-



Rys. 6. Porównanie chromatogramów uzyskanych dla ekstraktów na bazie eteru dietylowego, otrzymanych po procesie ekstrakcji związków organicznych z kolumny ze złożem wstępnym i kolumny ze złożem kontrolnym

Fig. 6. Comparison of chromatograms obtained for extracts on the basis of diethyl ether, obtained after the extraction of organic compounds from the column with initial and control bed

Tabela 2. Dane dotyczące czasu prowadzenia procesu termicznego rozkładu gumy oraz sumy mas benzenu i toluenu podanej w przeliczeniu na 1 gram próbki

Table 2. Sum of masses of benzene and toluene given per 1 gramme of sample achieved in four different processes

Miejsce, z którego pobrano próbkę	Czas procesu [min]	Temperatura procesu [°C]	Suma benzen + toluen [mg]	Masa adsorbentu: kol. wstępna / kontrolna [mg]
Opasanie	5	500	1,06	300/50
	10		2,28	
	20		2,20	
	30		2,35	

Rys. 7. Schemat metody oznaczania związków z grupy BTEX, powstających podczas termicznego rozkładu gumy styrenowo-butadienowej

Fig. 7. Diagram showing the procedure for determining the quantity of compounds from the BTEX group, formed during thermal decomposition of styrene-butadiene rubber

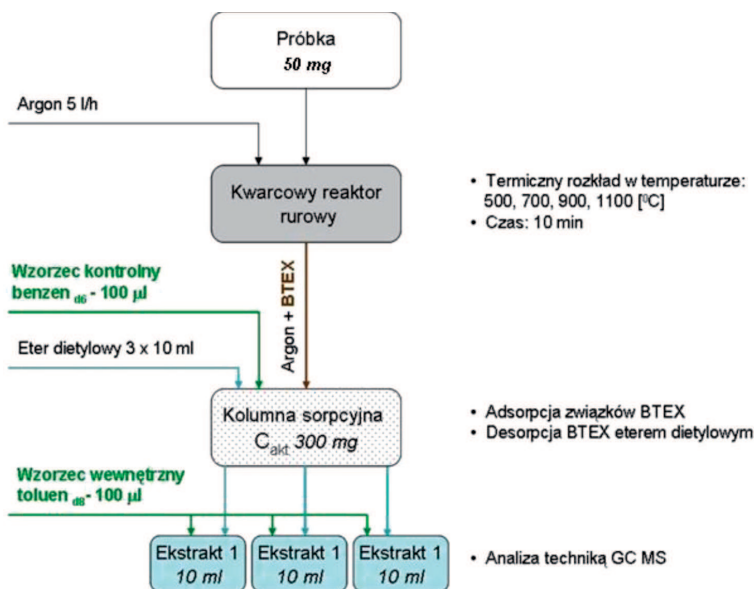


Tabela 3. Masy związków z grupy BTEX powstających w trakcie wygrzewania próbek gumy pobranych z bieżnika, przeliczone na 1 gram próbki

Table 3. Masses of compounds from the BTEX group formed during heating of samples taken from the tread, converted to 1 gramme of a sample

Temperatura [°C]	Próbka pobrana z bieżnika				
	Benzen	Toluen	Etylobenzen	m+p-ksylen	o-ksylen
	Masa [mg]				
500	0,30	2,51	< MDL*	4,00	0,35
700	8,75	27,8	0,87	20,7	4,03
900	70,1	36,0	< MDL*	8,75	9,66
1100	49,2	1,67	< MDL*	1,15	0,59
SUMA	128,3	68,0	0,87	34,6	14,6

* granica wykrywalności metody analitycznej dla etylobenzenu wynosi 0,09 mg

Tabela 4. Masy związków z grupy BTEX powstających w trakcie wygrzewania próbek gumy pobranych z opasania opony, przeliczone na 1 gram próbki

Table 4. Masses of compounds from the BTEX group formed during heating of samples taken from steel belts, converted to 1 gramme of a sample

Temperatura [°C]	Próbka pobrana z opasania opony				
	Benzen	Toluen	Etylobenzen	m+p-ksylen	o-ksylen
	Masa [mg]				
500	0,30	3,72	< MDL*	4,79	0,51
700	14,1	35,1	< MDL*	24,3	4,88
900	72,3	36,9	< MDL*	8,40	6,26
1100	41,8	1,07	< MDL*	0,84	0,32
SUMA	128,5	76,8	< MDL*	38,3	12,0

* granica wykrywalności metody analitycznej dla etylobenzenu wynosi 0,09 mg

Tabela 5. Masy związków z grupy BTEX powstających w trakcie wygrzewania próbek gumy pobranych z boku opony, przeliczone na 1 gram próbki

Table 5. Masses of compounds from the BTEX group formed during heating of samples taken from the sidewall, converted to 1 gramme of a sample

Temperatura [°C]	Próbka pobrana z boku opony				
	Benzen	Toluen	Etylobenzen	m+p-ksylen	o-ksylen
	Masa [mg]				
500	0,56	2,31	0,22	1,42	0,84
700	16,3	22,6	< MDL*	8,76	5,59
900	77,3	28,6	< MDL*	4,18	10,04
1100	48,1	0,85	< MDL*	0,90	0,33
SUMA	142,3	54,4	0,22	15,3	16,8

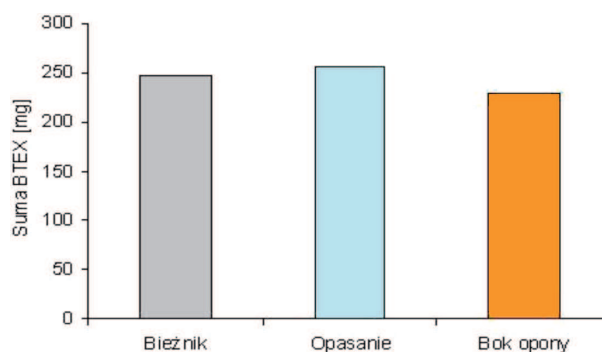
* granica wykrywalności metody analitycznej dla etylobenzenu wynosi 0,09 mg

korzystując warunki analizy chromatograficznej opisane w rozdziale 2.2. Ekstrakty, w których oznaczano masy związków BTEX przygotowywano według schematu przedstawionego na rysunku 7.

Masy związków z grupy BTEX, uzyskane w trakcie termicznego rozkładu próbek gumy, podane w przeliczeniu na 1 gram próbki, przedstawiono w tabelach 3÷5.

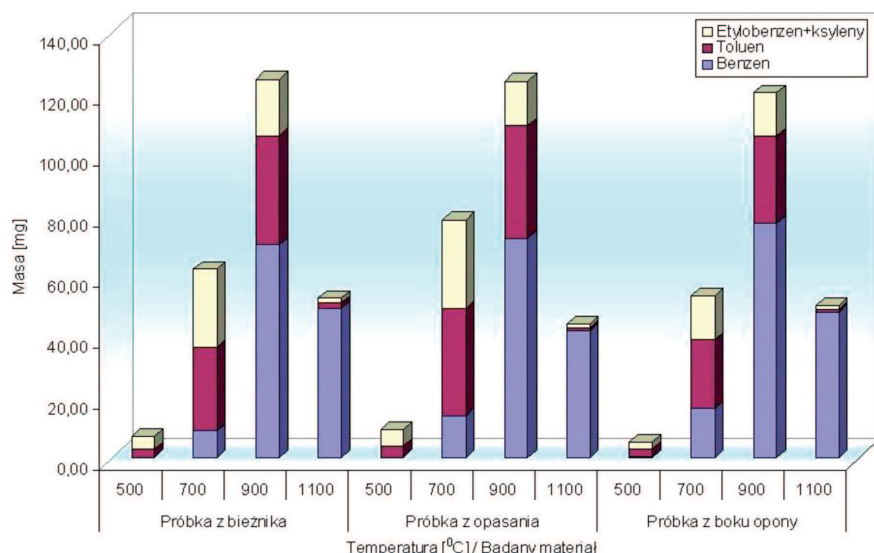
3. DYSKUSJA WYNIKÓW

W trakcie prowadzenia procesu termicznego rozkładu gumy następuje, w wysokiej temperaturze, rozkład usieciowanego elastomeru styrenowo-butadienowego. Prowadzi to, jak wynika z danych przedstawionych w tabelach 3÷5, do emisji związków BTEX. Na podstawie wyników oznaczeń BTEX emitowanych w trakcie termicznego rozkładu próbek gumy pobranej z trzech różnych miejsc wytypowanych na oponie samochodowej, nie stwierdzono istotnych różnic w sumie BTEX w badanych materiałach (Rys. 8).



Rys. 8. Masa związków z grupy BTEX (masa podana w przeliczeniu na 1 gram próbki) powstających w trakcie termicznego rozkładu próbek gumy pobranych z trzech różnych miejsc opony samochodowej, obliczona dla sumy procesów prowadzonych w 500°C, 700°C, 900°C i 1100°C

Fig. 8. Mass of compounds from the BTEX group (converted to 1 gramme of a sample) formed during thermal decomposition of styrene-butadiene rubber samples, taken from three different parts of car tyres, calculated for the sum of processes conducted at 500°C, 700°C, 900°C and 1100°C



Rys. 9. Zmiana masy związków BTEX (masa podana w przeliczeniu na 1 gram próbki) powstających w trakcie termicznego rozkładu gumy, w zależności od temperatury prowadzenia procesu i rodzaju próbki (miejsca poboru)

Rys. 9. Change in masses of compounds from the BTEX group (converted to 1 gramme of a sample), formed during thermal decomposition of styrene-butadiene rubber samples, depending on process temperature and the sample

Dokonując przeglądu uzyskanych wyników oznaczeń BTEX-ów, zaobserwowano również, że na masę związków BTEX, uwalnianych w trakcie termicznego rozkładu gumy bardzo istotny wpływ ma temperatura w jakiej prowadzono termiczny rozkład. Stwierdzono iż największe ilości BTEX-ów powstają w wyniku termicznego rozkładu prowadzonego w temperaturze 900°C, natomiast najmniejsze ilości w emitowane są w 500°C (Rys. 9).

4. PODSUMOWANIE

W dobie stale zaostrzających się przepisów dotyczących gospodarowania odpadami, a w tym ich składowania, istnieje konieczność poszukiwania wydajnych i przyjaznych środowisku naturalnemu metod ich przetwarzania i unieszkodliwiania. Aby opracowywane technologie były bezpieczne zarówno dla pracowników jak i dla środowiska, konieczne jest tworzenie systemu ich monitorowania, ze szczególnym uwzględnieniem tych etapów, w trakcie których mogą powstawać szkodliwe związki organiczne.

Jednym z procesów unieszkodliwiania zużytych opon samochodowych są procesy ich termicznego rozkładu. Jak wykazały wyniki badań jakościowych, zrealizowanych w pracy, procesy te mogą stanowić źródło emisji związków organicznych, które uznawane są za szczególnie szkodliwe. W związku z dużym znaczeniem jakie

odgrywa ochrona środowiska przed niebezpiecznymi zanieczyszczeniami powietrza, w pracy podjęto działania pozwalające na opracowanie metody identyfikacji i ilościowego oznaczania związków BTEX powstających podczas termicznego rozkładu gumy styrenowo-butadienowej.

Dobrano optymalne parametry pracy stanowiska do prowadzenia procesów termicznego rozkładu w skali laboratoryjnej. Opracowana metoda analizy ilościowej, pozwoliła na dokładne określenie ilości związków BTEX powstających w trakcie termicznego rozkładu badanych próbek, prowadzonego na stanowisku laboratoryjnym, w zakresie temperatury od 500°C do 1100°C. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że na stężenie związków BTEX w gazach powstających w trakcie termicznego rozkładu próbek gumy, nie ma wpływu miejsce na oponie samochodowej, z którego zostały pobrane próbki. Ponadto zaobserwowano, że istnieje optymalny zakres temperatury dla powstawania, w wyniku termicznego rozkładu gumy, związków z grupy BTEX. Dla toluenu oraz sumy etylobenzenu i ksylenów zakres temperatury, w którym związki te powstają w największych ilościach wynosi od 700°C do 900°C. Benzen natomiast, powstaje w największych ilościach w temperaturze od 900°C do 1100°C.

Artykuł zawiera wyniki badań uzyskane w pracy statutowej Instytutu Metalurgii Żelaza S0-0939/2016 finansowanej z dotacji MNiSW na rok 2016.

LITERATURA

- [1] http://cordis.europa.eu/news/rcn/35926_pl.html (dostęp 17.02.17).
- [2] K. Januszewicz, M. Klein, E. Klugmann-Radziemska, Gaseous Products from Scrap Tires Pyrolysis, *Ecological Chemistry and Engineering* 19 (3) (2012) 451–460.
- [3] E. Kwon, M. Castaldi, An investigation of the thermal degradation mechanisms of a waste tire through chemical analysis

- including hydrocarbons, benzene derivatives, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) at high temperature, 16th Annual North American Waste-to-Energy Conference May 19–21, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2008.
- [4] <http://dobryodlew.pl/node/9527> (dostęp 15.02.17).