

ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI, RYSZARD MICHALSKI^{*)}, EWA KAMIŃSKA

Instytut Transportu Samochodowego
ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa

Wybrane metody zagospodarowania zużytych opon

Streszczenie — Zagospodarowanie rosnącej masy składowanych, zużytych, zagrażających środowisku naturalnemu opon, stanowi poważny problem. W artykule podjęto próbę oceny pod względem prawnym, ekonomicznym i technologicznym obecnego stanu zagospodarowania/recyklingu opon. Przedstawiono przykłady zastosowań produktów recyklingu materiałowego i korzyści wynikające z odzysku energetycznego.

Słowa kluczowe: opony, recycling opon, odzysk energii, samochód osobowy.

SELECTED METHODS OF UTILISATIONS USED TIRES

Summary — The management of an increasing mass of the stored waste tyres, which pose a risk to the environment, has become a serious problem. The paper is an attempt to assess the current state of the management and recycling of tyres from the legal, economic and technological points of view. The examples of uses of the products of material recycling and the environmental benefits arising from the recovery of energy were presented.

Keywords: tyres, recycling of tyres, recovery of energy, passenger car.

W Polsce, podobnie jak w innych krajach Unii Europejskiej, ok. 80 % zużytych wyrobów gumowych stanowią opony. Od lat wzrasta ilość zużytych opon zanieczyszczających środowisko naturalne — rozwiązaniem problemu może być odzysk oraz recykling. Produkcja opon w Polsce wynosi ok. 180 tys. ton rocznie. Uwzględniając zbilansowany eksport i import obliczono, że na rynek polski wprowadza się ponad 190 tys. ton opon rocznie (96 % to opony nowe). W trakcie eksploatacji ubywa ok. 20–25 % tej masy, zatem do zagospodarowania pozostaje 142–152 tys. ton. Dodatkowo, ok. 10 tys. ton odpadów gumy pochodzi ze zdemontowanych pojazdów, w postaci opon, uszczelek (szyby, drzwi, inne elementy nadwozi), węży, rurek, podkładek oraz elementów zawieszania [1, 2].

UTYLIZACJA GUMY/OPON

Utylizacja gumy a zwłaszcza opon stanowi duże zagrożenie dla środowiska. Wykorzystanie tak wielkiej masy odpadów to duże wyzwanie dla wszystkich zaangażowanych w proces recyklingu opon w Unii Europejskiej i w kraju. Podjęte działania legislacyjne — w UE Dyrektywa 1999/31/EC (Landfill Directive) i w kraju Ustawa o odpadach z dnia 27 kwietnia 2001 r. — wprowadza zakaz składowania na składowiskach od 1 lipca 2003 r. zużytych opon, a od 1 lipca 2006 r. — elementów opon. Ustawa z 11 maja 2001 r. o obowiązkach przedsiębiorców w zakresie gospodarowania niektórymi odpadami oraz

opłacie produktowej i opłacie depozytowej, nakłada na producentów i importerów obowiązek uzyskania wyznaczonego poziomu odzysku, wprowadzonych na polski rynek opon. Dyrektywa 2000/53/CE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji oraz Ustawa z 20 stycznia 2005 r. o recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji nakazują ponadto demontaż i ponowne wykorzystanie opon przed ich złomowaniem. Wprowadzone przepisy skłoniły producentów opon do utworzenia organizacji zajmujących się zbiórką i zagospodarowaniem zużytych opon. Opony z samochodów zarówno osobowych, dostawczych, jak i ciężarowych są odbierane bezpłatnie od: punktów serwisowych ogumienia, firm eksploatujących samochody, gmin, osób fizycznych i stacji demontażu.

Strukturę zagospodarowania zużytych opon samochodowych w Europie i w Polsce, według Europejskiego Centrum Recyklingu i Promocji (ECRiP), przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Struktura zagospodarowania opon w Europie i w Polsce [3]

T a b l e 1. The management structure of tyres in Europe and Poland [3]

	Unia Europejska, %	Polska, %
Bieżnikowanie	11	12
Recykling materiałowy	38	18
Spalanie w cementowniach i ciepłowniach	32	60
Niezagospodarowane i inne	19	10

^{*)} Autor do korespondencji; ryszard.michalski@its.waw.pl

Opony wycofane z eksploatacji ale nadające się do odzysku produktowego poddaje się nacinaniu bieżnika, lub bieżnikowaniu, opony zużyte zaś podlegają procesom recyklingu materiałowego bądź odzysku energetycznego.

ODZYSK PRODUKTOWY OPON

Opony zużyte – całe, pocięte lub sprasowane – znajdują wiele zastosowań w budownictwie lądowym i wodnym, m.in. jako materiał na: podłoże dróg, umocnienie pochyłości na poboczach dróg, bariery dźwiękochłonne, odbojniki łodzi i statków, ochrony brzegów rzek, sztuczne rafy na dnie mórz, zbiorniki i kanały wodne w systemach irygacyjnych, odbojniki na nabrzeżach i falochronach. Innym sposobem wykorzystania zużytych opon jest nacinanie bieżnika lub bieżnikowanie. Ocenia się, że 15–20 % zużytych opon jest poddawane wymienionym procesom, dotyczy to jednak głównie opon samochodów ciężarowych. Niska cena i coraz wyższa jakość opon do samochodów osobowych powoduje, że są one rzadziej poddawane takiej operacji.

Nacinanie bieżnika, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 1 kwietnia 1999 r. (Dz.U. Nr 44, poz. 432 z 1999 r.), można wykonać wówczas, gdy głębokość rzeźby bieżnika jest mniejsza niż 1,6 mm, a opona nie wykazuje cech stwarzających zagrożenie bezpieczeństwa użytkownika i jest przeznaczona do samochodów osobowych lub ciężarowych. W autobusach nie dopuszcza się stosowania opon z pogłębioną rzeźbą bieżnika.

Bieżnikowanie opon natomiast można przeprowadzić wówczas, gdy wysokość rzeźby bieżnika jest mniejsza niż wymagana a jakość opony nie zagraża bezpieczeństwu jej użytkownika. Wymagania określone dla opon przeznaczonych do bieżnikowania zawierają regulaminy EKG ONZ R 108 i R 109.

Wykorzystywane są dwie metody bieżnikowania:

– metoda „na gorąco” polega na usunięciu z karkasa resztek bieżnika, nałożeniu kleju z niezwulkanizowanej mieszanki gumowej, a następnie poddaniu wulkanizacji w formie, pod ciśnieniem 1,2–1,4 MPa, w temp. 150–180 °C. W metodzie tej można pokrywać gumą bark i boki opony,

– metoda „na zimno” polega na nałożeniu na oczyszczony z bieżnika karkas cienkiej warstwy niezwulkanizowanej gumy, a następnie nałożeniu na nią wstępnie zwulkanizowanej taśmy bieżnika i zwulkanizowaniu w autoklawie w temp. 100 °C pod ciśnieniem 0,6–1 MPa.

Metoda „na zimno” jest prostsza i tańsza niż metoda „na gorąco”. Użytkowe właściwości bieżnikowanych opon w 70–90 % odpowiadają cechom opony nowej, zależnie od jakości karkasu i zastosowanej mieszanki a przede wszystkim od jakości procesu bieżnikowania. Koszt bieżnikowania natomiast stanowi 40–60 % kosztu nowej opony [2].

RECYKLING MATERIAŁOWY

W procesie wulkanizacji gumy tworzy się sieć wiązań poprzecznych między łańcuchami elastomeru, z udziałem atomów siarki i atomów pochodzących z innych związków chemicznych obecnych w mieszance. Powstały termoutwardzalny materiał jest ciałem stałym, nierozpuszczalnym i trudnotopliwym. W przeciwieństwie do termoplastów, które mogą być przetwarzane wielokrotnie, gumy nie można przywrócić do stanu wyjściowego, ani za pomocą temperatury, ani obróbki chemicznej lub mechanicznej.

Techniczne i ekonomiczne problemy związane z recyklingiem gumy skłaniają naukowców do opracowania materiałów alternatywnych w postaci termoplastów i elastomerów termoplastycznych, jednocześnie jednak do poszukiwań skutecznych i ekonomicznie korzystnych metod recyklingu gumy. Do bardziej znanych metod odzysku i recyklingu gumy można zaliczyć: spalanie, pirolizę, mielenie, granulowanie, regenerację, dewulkanizację mikrofalową, ultradźwiękową lub biologiczną. Badania związane z aplikacją recyklatów gumowych, głównie do otrzymywania nowych wyrobów lub do modyfikacji termoplastów, asfaltu i betonu były prowadzone w Instytucie Przemysłu Gumowego w Piastowie oraz w Instytucie Chemii Przemysłowej w Warszawie [1–4].

Mechaniczny recykling gumy

Mechaniczny recykling odpadów gumowych polega na ich rozdrabnianiu i ponownym użyciu jako składnika nowych mieszanek gumowych. Najczęściej wykorzystuje się metody:

- rozdrabniania w temperaturze otoczenia,
- rozdrabniania w niskiej temperaturze,
- rozdrabniania na mokro w temperaturze otoczenia.

Rozdrabnianie w temperaturze otoczenia odbywa się w trój etapowo:

– Na pierwszym etapie w trzech młynach, usadowionych jeden nad drugim, następuje rozdrabnianie całych lub pociętych opon z samochodów osobowych i ciężarowych na kęsy o wymiarach 40 × 40 mm, jednocześnie za pomocą separatora magnetycznego i powietrznego oddzielane są druty kordu stalowego i kordy tkaninowe.

– Na drugim etapie kęsy gumy są podawane do walcarki mielącej, gdzie następuje dalsze rozdrobnienie gumy, oraz separacja resztek kordu stalowego i tkaninowego przy użyciu umieszczonych pod walcarką separatorów magnetycznych i powietrznych. Regulowana szczelina między walcami pozwala uzyskać granulaty o wymiarach 0,5–2,5 mm.

– Na trzecim etapie granulaty jest podawany do podajnika dwuślimakowej wylączarki mielącej z dwustopniowym układem chłodzenia (zapobiegającym skokowaniu i zapaleniu produktu).

Na końcu linii znajdują się sita do rozdzielania granulatu/miała na cząstki o wymiarach od 100 μm do 600 μm , oraz maszyny do pakowania produktów w worki. Uzyskany granulát lub miál jest dodawany do mieszanek gumowych, lub poddawany dalszej obróbce, np. dewulkanizacji. W wyniku tego całego trójetapowego procesu otrzymuje się rozdrobnioną gumę (70 %), metal (20 %) i odcinki kordu tkaninowego (10 %).

Poszczególne elementy opisanej linii (młyny, walcarki, wytlaczarki) mogą pracować indywidualnie i wytwarzać, w zależności od potrzeb, określone frakcje rozdrobnionej gumy [3].

Rozdrabnianie w niskiej temperaturze polega na schłodzeniu poniżej temperatury zeszklenia (ok. $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$) odpadu gumowego w postaci granulatu, otrzymanego jedną z opisanych wyżej metod, za pomocą ciekłego azotu, a następnie rozdrobnieniu w młynie młotkowym. Proces jest drogi ze względu na koszt urządzeń i ciekłego azotu, jego wadą jest gładka powierzchnia otrzymywanych cząstek; zaletą jednak jest brak degradacji gumy i możliwość wyodrębniania z otrzymanego regeneratu zanieczyszczeń stalowych (złom stalowy) i włókien kordu tkaninowego. Bardziej ekonomiczna metoda wykorzystuje do schładzania gumy chłodziarki sprężarkowe. Prowadzi się próby przerobu całych opon, bez ich wstępnego kawałkowania.

Rozdrabnianie na mokro w temperaturze otoczenia polega na mieleniu w młynach rozdrobnionej gumy w zawieszinie wodnej. Uzyskuje się regenerat gumowy w postaci miała o wymiarach cząstek 125 μm do 250 μm , niezdegradowany, o dobrze rozwiniętej powierzchni, dający się łatwo przetwarzać, umożliwiający wytwarzanie, na drodze wytłaczania lub prasowania, gładkich elementów. Metoda ta jest tańsza niż rozdrabnianie w niskiej temperaturze. W wyniku procesów rozdrobnienia gumy/opon uzyskuje się produkty o następujących wymiarach cząstek:

- miál gumowy: <1 mm,
- granulát gumowy: 1–15 mm,
- ścier: 15–40 mm,
- grys: 15–100 mm,
- strzępy/ścinki: 100–300 mm,

a ponadto drut stalowy i tkaninę.

Otrzymane frakcje są używane jako dodatek do nowych mieszanek gumowych, do produkcji wyrobów, takich jak: izolacje tuneli, drogi, asfalty, nawierzchnie mostów, elementy infrastruktury dróg, wykładziny placów zabaw, bieżnie, wykładziny hal sportowych, ekrany, maty izolacyjne, syntetyczny torf, lane opony przemysłowe, wykładziny podłogowe, pokrycia dachów, przejazdy kolejowe, podziemne rury irygacyjne, materiały pochłaniające rozlaną ropę, wycieraczki, dywaniki samochodowe, itp. Kompozyty cementu z rozdrobnioną gumą znalazły zastosowanie jako wierzchnie warstwy dróg, chodników i autostrad (separatory pasów autostrad), oraz ekranów dźwiękochłonnych [3, 5].

Termiczny recykling gumy

Zastosowanie energii mechanicznej, cieplnej lub chemicznej w recyklingu odpadów gumowych umożliwia przebieg procesu regeneracji polegającego na rozerwaniu wiązań tworzących sieć, takich jak: C-S i/lub S-S, a także na częściowej degradacji łańcuchów elastomerycznych. W zależności od wykorzystanej metody oraz od stopnia degradacji uzyskanego regeneratu jest możliwe dalsze jego przetwarzanie i wulkanizacja w celu otrzymania nowego produktu.

Znanym sposobem regeneracji jest metoda olejo-parowa, polegająca na zmieszaniu granulatu gumowego z olejem/olejami, następnie załadowaniu go do autoklawu i poddaniu działaniu pary wodnej. Proces przebiega pod ciśnieniem 1–2 MPa, w temp. 175–205 $^{\circ}\text{C}$ w ciągu 5–12 h.

Mechaniczne i chemiczne metody regeneracji gumy, zwane dewulkanizacją, obejmują poddanie granulatu lub miała działaniu sił ścinających na walcierce z jednoczesnym dozowaniem związków chemicznych selektywnie rozrywających sieciujące wiązania typu C-S i/lub S-S. Otrzymuje się regenerat zwany dewulkanizatem, z nienaruszonymi łańcuchami elastomerowymi. Stopień dewulkanizacji zależy od zastosowanego związku chemicznego i stopnia rozdrobnienia odpadu gumowego. Dodatek dewulkanizatu w ilości do 50 % mas. do nowych mieszanek gumowych nie wpływa w istotnym stopniu na pogorszenie właściwości wytrzymałościowych produktu.

Procesy chemiczne są jednak nieekonomiczne i pod względem operacyjnym uciążliwe, wymagają bowiem czyszczenia regeneratu ze szlamu powstałego w wyniku zachodzących reakcji chemicznych. Wygodną, choć chemiczną metodą jest biotechnologiczna dewulkanizacja gumy przebiegająca pod wpływem działania bakterii asymilujących siarkę. Proces prowadzony w temp. 65 $^{\circ}\text{C}$ trwa kilka dni, a po zakończeniu procesu bakterie giną. Z uzyskanego w ten sposób dewulkanizatu poddanego wulkanizacji i dalszemu przetwarzaniu (na drodze prasowania, wytłaczania, kalandrowania, wtryskiwania, itp.) można otrzymać szereg produktów o doskonałych właściwościach użytkowych [2, 3].

Modyfikacja asfaltów miałem gumowym

Rozdrobnione opony w postaci miała coraz powszechniej wykorzystuje się jako dodatek do asfaltów wpływający na zwiększenie trwałości, elastyczności, twardości, przyczepności oraz zmniejszenie odbicia światła. Korzyścią płynącą ze stosowania gumowanego asfaltu jest ponadto zmniejszenie hałasu na drogach, wzrost odporności na poślizg i ścieranie oraz lepsze właściwości powierzchni poddanej działaniu opadów i niskiej temperatury.

Modyfikację asfaltów za pomocą granulatu gumowego uzyskanego ze zużytych opon prowadzi się dwiema metodami:

– Metodą suchą, polegającą na dodaniu 1–3 % granulatu o wymiarach cząstek powyżej 2 mm, w charakterze kruszywa do mieszanki mineralno-asfaltowej. W przypadku użycia granulatu gumowego o wymiarach cząstek poniżej 1 mm następuje rozpuszczenie gumy w ciekłym asfalcie, wówczas guma spełnia rolę modyfikatora.

– Metodą moką, w której do płynnego asfaltu o temp. 400 °C dodaje się 15–30 % granulatu o wymiarach ziarna poniżej 1 mm. W takiej temperaturze miążgumowy rozpuszcza się w asfalcie, następuje dewulkanizacja/regeneracja gumy. Materiał dostarczany jest następnie do mieszalnika, gdzie w temp. 200 °C poddaje się go mieszaniu przez 5–15 h. Innym sposobem jest rozpuszczenie gumowego granulatu w wysokoaromatycznym oleju organicznym, a następnie mieszaniu go z asfaltem, w temp. 200 °C.

Usieciowane kauczuki zazwyczaj nie mieszają się z bitumami. Kompozyty asfaltu z regeneratem gumowym wykazują właściwości elastyczne i termomechaniczne lepsze niż właściwości tradycyjnego asfaltu [2, 3, 6].

Piroliza opon gumowych

Piroliza polega na ogrzewaniu całych lub pociętych opon w temp. 450–750 °C bez dostępu tlenu. W wyniku tego procesu otrzymuje się: frakcję olejową, gazową i stałą. Dalsza obróbka uzyskanych frakcji pozwala uzyskać cenne surowce: paliwo gazowe, sadzę, olej opałowy, węgiel aktywny, paliwo stałe, stal. Proces jest prowadzony w podgrzewanych bezpośrednio lub pośrednio (przepornowo), różnej wielkości i konstrukcji piecach pirolitycznych, np. z reaktorem pionowym lub poziomym, z ruchomym lub nieruchomym złożem. Najbardziej powszechne piece pirolityczne charakteryzują się wydajnością 2–6 t/h co odpowiada 15 000–50 000 t/r. [2, 7].

Fizyczny recykling gumy

Recykling gumy może być realizowany także metodami fizycznymi, przy użyciu mikrofal lub ultradźwięków. Są to sposoby wydajne, ale kosztowne, mogą zatem być stosowane selektywnie, w zależności od rodzaju tworzących gumę elastomerów i typu obecnych w niej wiązań.

Dewulkanizacja za pomocą mikrofal polega na periodycznym nagrzewaniu mikrofalami o częstotliwościach 915 MHz i 2 450 MHz i intensywności grzania, odpowiednio, 91 Wh/h i 392,5 Wh/h, temperatura gumy osiąga wówczas wartość 232–427 °C. W tej metodzie jest wymagane by guma miała charakter polarny, np. EPDM. Pod wpływem mikrofal rozerwaniu ulegają przede wszystkim wiązania węgiel-siarka i siarka-siarka, w mniejszym stopniu wiązania węgiel-węgiel. Uzyskany wulkanizat nadaje się do ponownego przetwarzania lub wulkanizacji. Proces dewulkanizacji mikrofalami wymaga kosztownego oprzyrządowania, ale zaletami są: duża

wydajność i wysoki stopień wykorzystania odpadów [2, 3].

Recykling za pomocą ultradźwięków – wykorzystanie tej metody na razie jest na etapie badań.

Dobre wyniki uzyskuje się stosując urządzenie do ciągłej dewulkanizacji zmielonych opon. Wytłaczarka jednoślindakowa, z zamontowanym na obudowie generatorem ultradźwięków, oraz zamontowanym na głowicy stożkowej konwerterem akustycznym i elementem wspomagającym, pozwala na uzyskanie drgań głowicy wzdłuż ślimaka, o częstotliwości 20 kHz i regulowanej amplitudzie. Otrzymywany w sposób ciągły miękki dewulkanizat daje się ponownie przetwarzać i wulkanizować, a wytworzone z niego produkty charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi.

Ze względu na fakt, że proces wulkanizacji gumy jest, praktycznie biorąc, nieodwracalny, a regeneracja i dewulkanizacja nie przebiega do końca, to uzyskany w opisanych procesach recyklat (guma otrzymana z odpadów gumowych poddanych procesom recyklingu) wykazuje gorsze właściwości fizyczne niż guma bez dodatku recyklatu. W wyrobach, którym stawia się wysokie wymagania (opony, przewody, paski rozrządu, paski klinowe, paski zębate, uszczelki i inne) recyklaty gumowe nie mogą być wykorzystywane, w innych zastosowaniach mogą stanowić składnik nowych mieszanek, nawet w ilości do 70 % mas. Recyklaty gumy można mieszać z kauczukami i tworzywami termoplastycznymi. Wynalezienie elastomerów termoplastycznych (TPE) stworzyło nowe możliwości wykorzystania recyklatów gumowych (np. z opon). Niska cena i dobre właściwości elastyczne tych materiałów pozwoliły zastąpić wiele kauczuków i termoplastów elastomerami TPE. Cząstki elastomeru nieusieciowanego lub usieciowanego częściowo, rozproszone w fazie ciekłej termoplastu (PE, PP, PUR, PA, PET, PS) tworzą mieszaniny o różnorodnych właściwościach, dające się wielokrotnie przetwarzać metodą wtryskiwania, prasowania lub wytłaczania.

Przedstawione tu przykłady recyklingu odpadów gumowych, zwłaszcza opon, służą ochronie środowiska dzięki odzyskiwaniu cennych surowców i materiałów, zmniejszeniu ilości zanieczyszczeń, oszczędności energii. Rozwój wiedzy i technologii winien przyczynić się do znacznego obniżenia kosztów recyklingu gumy, co pozwoli na zwiększenie stopnia recyklingu i odzysku oraz spełnienie wymagań krajowych oraz Unii Europejskiej w tym zakresie [2, 3, 5].

ODZYSK ENERGETYCZNY

Zużyte opony są wykorzystywane jako paliwo, m.in. w cementowniach i ciepłowniach (odzysk energii). Takie działanie umożliwia szybką utylizację zalegających na składowiskach dużych ilości opon, mimo to odzysk energetyczny jest najmniej pożądanym sposobem zagospodarowania odpadów gumowych.

Opony są jednak cennym surowcem energetycznym, ich wartość opałowa przewyższa wartość energetyczną większości paliw, z wyjątkiem ropy naftowej (tabela 2).

T a b e l a 2. Kaloryczność i wartość opałowa materiałów [2]

T a b l e 2. Caloricity and fuel values of materials [2]

	Kaloryczność/wartość opałowa kcal/g/MJ/kg
Ropa naftowa	9,5/39,4
Opony	7,5/31,4
Węgiel	6,3/26,4
Tekstylnia	4,4/18,4
Papier	4,2/17,6
Biomasa	3,6/15,1
Odpady żywnościowe	0,83/3,47

Spalanie opon w bezdymnych piecach w cementowniach jest bezpieczne dla środowiska i umożliwia ich bezodpadowe zagospodarowanie. W tym procesie nie powstaje ani popiół, ani żużel, gdyż kord stalowy opon jest trwale wiązany z wytwarzanym klinkierem, korzystnie wpływając na jego właściwości wytrzymałościowe. Nie wykazano również większej niż w procesie spalania węgla emisji pyłów, tlenków azotu, tlenków siarki oraz metali ciężkich (poza cynkiem). Temperatura w piecach cementowych dochodzi do 2 000 °C, co stwarza doskonałe warunki do bezpiecznego spalania opon i całkowitego rozkładu większości związków chemicznych, a spaliny emitowane przez cementownie skutecznie oczyszczają systemy wydajnych filtrów. Potencjał procesu tkwi w tej wysokiej temperaturze utrzymywanej przez długi czas w piecu obrotowym, co jest konieczne przy wypalaniu klinkieru. Rozżarzony kamień klinkierowy umożliwia długie utrzymywanie bardzo wysokiej temperatury. Istniejące, powszechnie stosowane spalarnie nie są w stanie stworzyć warunków utylizacji zbliżonych do panujących w piecu cementowym. Obrotowe piece cementowe są zatem jednym z najbezpieczniejszych i najlepszych technologicznie urządzeń do współspalania (odzysku energii i całkowitej utylizacji) paliw alternatywnych. Koniecznym warunkiem do redukcji dioksanów i furanów jest oddziaływanie na nie temperatury wyższej niż 850 °C w ciągu co najmniej 2 s. W piecu obrotowym panuje temperatura ok. 2 000 °C a czas spalania odpadu wynosi ponad 10 s, stąd też stężenie dioksyn w paliwach osiąga wartość znacznie poniżej normy.

Prowadzenie odzysku o charakterze energetycznym z wykorzystaniem odpadów jako paliwa, wymaga uzyskania odpowiednich zezwoleń, przede wszystkim uwzględnionych w ustawie o odpadach (Dz. U. z 2007 r. nr 39, poz. 251).

Odpady z gumy i opon stosuje się niestety także do opalania w kotłowniach i innych instalacjach komunalnych. Taki odzysk energetyczny jest szkodliwy dla środowiska, ze względu na powstające zapylenie oraz wzmożoną emisję SO₂, NO_x i związków organicznych.

Ocenia się, że 15 % frakcji lekkiej powstałej w wyniku procesu strzępiania odpadów gumowych na strzępiarce stanowi guma pochodząca z uszczelnień nadwozia, przewodów, kształtek, przelotek, elementów zawieszonych, itp. Wraz z odpadami tworzyw polimerowych i tekstyliów stanowi ona paliwo o wysokiej wartości opałowej.

Mimo to, koszt pozyskiwania paliwa ze zużytych opon jest znacznie wyższy niż innych klasycznych paliw. Względy ekologiczne, ostre wymagania legislacyjne i dopłaty produktowe przyczyniają się jednak do coraz powszechniejszego spalania opon [8].

LITERATURA

1. Wojciechowski A., Michalski R., Kamińska E.: „Recykling opon”, Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy Recyklingu 2011”, Józefów k/Otwocka, 5–8 października 2011 r.
2. Pyskło L., Parasiewicz W.: „Recykling zużytych opon”, Studia i Materiały Monograficzne, IPG Piastów 2007, zeszyt Nr 7.
3. Isayev A. I. „Recykling gumy” w „Poradnik Technologia Gumy” (red. White J. R., De Sadhan K.), IPG Stomil Warszawa 2003, rozdz. 15, s. 501–503.
4. *Zgłosz. pat.* P-301 070 (2006).
5. Wojciechowski A., Rudnik D., Michalski R.: „Recykling samochodów wycofanych z eksploatacji. Odzysk materiałów”, Biuletyn Informacyjny ITS Nr 2007/2.
6. Jurczak R.: „Sposób na zużyte opony”, *Magazyn Autostrady* 8–9/2006.
7. Kijeński J., Błędzki A. K., Jeziórska R.: „Odzysk i recykling materiałów polimerowych”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
8. Skarbek A., Michalski R.: „Energetyczne wykorzystanie odpadów pochodzących z pojazdów wycofanych z eksploatacji”, Międzynarodowa Konferencja „Innowacyjna Gospodarka Odpadami. Aspekty techniczne, ekonomiczne i prawne”, 16–18 listopada 2011, mat. konf.

Otrzymano 10 I 2012 r.