

Zbigniew BRYŁA, Renata PRZYWARSKA, Jerzy ZIELIŃSKI

PIROLIZA ODPADÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH I ZUŻYTYCH OPON SAMOCHODOWYCH
JAKO ŹRÓDŁO PALIW I SUROWCÓW CHEMICZNYCH

Streszczenie. Na tle stanu i kierunków rozwoju prac nad unieszkodliwianiem odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych w kraju i na świecie omówiono badania własne dotyczące pirolizy tego typu odpadów.

Badania przeprowadzono w laboratoryjnej instalacji modelowej, zwracając szczególną uwagę na ustalenie najbardziej korzystnych parametrów prowadzenia procesu i zbadanie produktów ze względu na możliwość zastosowania ich do celów paliwowych i jako surowców chemicznych.

Do badań zastosowano analizę elementarną, termograwimetryczną, chromatograficzną i spektrofotometryczną.

1. Stan i kierunki rozwoju prac nad unieszkodliwianiem odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych

Najtrudniejsze do unieszkodliwiania i stanowiące znaczne zagrożenie dla środowiska człowieka są odpady użytkowe z tworzyw, zużyte ogumienie i złom gumowy.

Nieodłącznym efektem rosnącej produkcji i zużycia tworzyw sztucznych staje się wzrost ilości odpadów zarówno technologicznych, jak i użytkowych. Przyjmuje się obecnie, iż przy istniejącym poziomie technologii około 90% odpadów technologicznych jest możliwe do zagospodarowania drogą zwracania do produkcji, natomiast pozostałe 10% odpadów technologicznych oraz wszystkie odpady użytkowe wymagają unieszkodliwiania [1]. Do najbardziej charakterystycznych metod unieszkodliwiania odpadów z tworzyw sztucznych należą [1, 2]: użytkowanie wtórne, składowanie, hydroliza, bio- i fotodegradacja, spalanie, piroliza. Rozmiary istniejących obecnie rocznych światowych przyrostów zasobów zużytych opon samochodowych należy szacować na około 17 mln ton, a całego złomu gumowego w granicach 19-20 mln ton rocznie [3].

Możliwości rozwiązania problemu zużytych opon przedstawiają się następująco [4, 5]: bieżnikowanie, regeneracja, otrzymywanie materiału do budowy dróg, falochronów, sztucznych raf, produkcja wykładziny podłogowej z granulatu ze zużytych opon, składowanie, spalanie, piroliza.

Spalanie było i jest najbardziej rozpowszechnioną, chociaż kosztowną metodą unieszkodliwiania odpadów z tworzyw sztucznych i zużytego ogumie-

nia. Proces spalania odpadów wiąże się ze znaczną "produkcją" zanieczyszczeń powietrza, przede wszystkim lotnych pyłów. Możliwość wprowadzenia dwustopniowego procesu, w którego pierwszej fazie stałe substancje organiczne zawarte w odpadach byłyby poddawane rozkładowi z wydzieleniem gazów palnych (piroliza), spalanych następnie w osobnych urządzeniach - oznacza wyeliminowanie źródła zanieczyszczeń atmosfery. W wyniku pirolizy odpadów z tworzyw sztucznych i zużytego ogumienia otrzymuje się substancje bardzo przypominające produkty krakowania ropy naftowej, a przez to stanowiące pożądany materiał wyjściowy dla wielu procesów petrochemicznych.

Biorąc pod uwagę potrzeby ochrony środowiska, kryzys paliwowo-energetyczny, podrożenie surowców oraz konieczność oszczędzania ropy naftowej i surowców w ogóle, pirolizę należy uważać za wiele obiecujący kierunek unieszkodliwiania odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych.

Badania nad procesami pirolizy są znacznie zaawansowane w Japonii, USA, RFN i Wielkiej Brytanii, gdzie pracują już instalacje pilotowe i półtechniczne o przepustowości do 25 t/dzień [4-14]. Do prac badawczych w tej dziedzinie włączyła się Szwecja, Rumunia i NRD [5].

W chwili obecnej w kraju nie prowadzi się prac nad pirolizą odpadów z tworzyw sztucznych, natomiast pewne osiągnięcia notuje się w dziedzinie krajowych badań nad pirolizą zużytych opon samochodowych. Badania tego typu przeprowadzone zostały przez gliwicki "Carbochem" [15], przy czym badaniami produktu ciekłego zajmowała się Czachowska [16] oraz przez Zakład Badawczo-Doświadczalny przy Wojewódzkim Zjednoczeniu Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Katowicach [11].

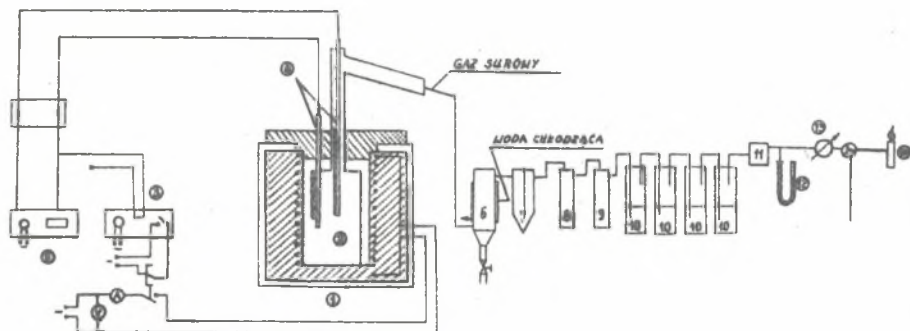
2. Cel i zakres badań

Trwające od kilku lat badania nad procesem pirolizy odpadów z tworzyw sztucznych i złomu gumowego nie doprowadziły do uruchomienia zakładu na skalę przemysłową ze względu na duże trudności technologiczne. Laboratoryjne badania podjęto celem wniesienia wkładu na drodze dokładnego poznania procesu. Badania te mogą stanowić punkt wyjścia do badań na skalę ułamkowo-techniczną.

Zakres pracy obejmował ustalenia najbardziej korzystnych parametrów prowadzenia pirolizy i zbadanie produktów ze względu na możliwości zastosowania ich do celów paliwowych i jako surowców chemicznych.

3. Przebieg i wyniki badań

Schemat instalacji laboratoryjnej stosowanej do badania procesu pirolizy przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat doświadczalnej instalacji do pirolizy odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych

1 - piec elektryczny, 2 - retorta, 3 - regulator temperatury, 4 - termopary, 5 - rejestrator temperatury, 6 - oddzielnik kondensatu, 7 - chłodnica powietrzna, 8 - łapacz smoły, 9 - pochłaniacz wilgoci, 10 - płuczki, 11 - kontrola przepływu, 12 - manometr, 13 - gazomierz, 14 - palnik

Składa się ona z elektrycznego pieca oporowego typu Jenknera, z cylindryczną retortą, pojemności $1,96 \text{ dm}^3$, wykonana ze stali żaroodpornej H25T oraz z zestawu urządzeń służących do rozdzielenia, oczyszczenia i pomiaru wydajności uzyskiwanych produktów pirolizy.

Przyrost temperatury był stopniowy (regulacja autotransformatorem). Do pomiaru temperatury stosowano termopary PtRh-Pt z miernikiem. W celu wyeliminowania powietrza aparaturę wstępnie przepłukiwano sprężonym azotem. Gazy i pary uchodzące z retorty przepływały przez metalową chłodnicę wodną i chłodnicę powietrzną, gdzie zatrzymywane były produkty ciekłe. Oczyszczanie gazu z zanieczyszczeń stałych, resztek smoły i pary wodnej odbywało się za pomocą U-rurek wypełnionych odpowiednio watą szklaną i nadtlenkiem manganowym.

Zanieczyszczenia chemiczne gazu usuwane były w płuczkach. Oczyszczony gaz przepływał przez urządzenie pomiarowe, składające się z manometru cieczowego do pomiaru nadciśnienia i laboratoryjnego gazomierza mokrą firmą Junkalor Dessau (NRD). Próbki gazu do badań pobierano za pomocą aspiratora do pipet gazowych. Proces posiadał charakter zamknięty. Wylot przewodu odprowadzającego gaz z gazomierza doprowadzony był do palnika. Dla sporządzenia bilansu masowego prób oznaczano gęstość kondensatu piknometrem oraz gęstość gazu aparatem Bunsena-Schilinga.

3.1. Piroliza tworzyw sztucznych

Dla wstępnego rozeznania badanego materiału pod względem własności termicznych - próbki tworzyw sztucznych najczęściej spotykanych - PE, PP, PCW i PS oraz ich mieszanki ($M_1 - M_4$), o składzie uwzględniającym prognozę produkcji tworzyw sztucznych w Polsce [17], wykorzystując istniejącą korelację pomiędzy ilością odpadów a wielkością produkcji tworzyw sztucznych, poddano analizie termogravimetrycznej [18].

Stosowano derywatograf typ OD-102. Szybkość ogrzewania wynosiła około 281 K/min, zakres temperatury 293-1073 K, atmosfera pieca - powietrze, wielkość naważki - 200 mg.

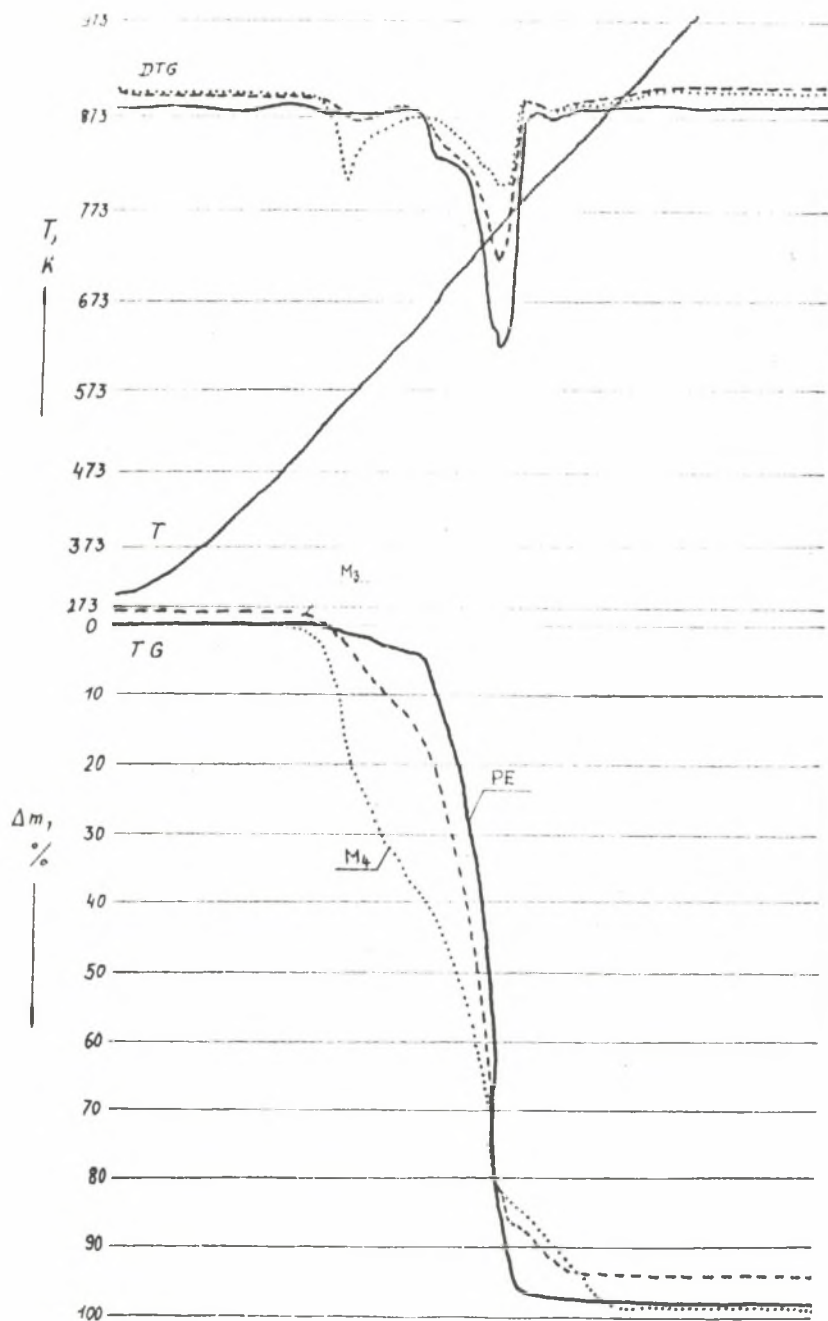
Tablica 1

Wyniki analizy termogravimetrycznej tworzyw i ich mieszanek

Próba	Tempe- ra- tura mię- knie- nia K	Tem- pe- ra- tura po- czą- tku roz- kła- du K	Tem- pe- ra- tura koń- ca roz- kła- du K	Ubytek masy próbki (% wag) w temperaturze, K							
				573	623	673	723	773	823	873	923
PE (folia, miękka)	388	663	793	1,86	7,00	12,00	22,00	80,00	97,50	100,00	-
PE (folia twar- da)	413	643	823	1,00	2,50	7,00	90,00	91,00	100,00	-	-
PS	543	633	923	1,10	2,90	17,10	82,00	94,30	95,80	97,70	100,00
PCW	543	493	923	51,20	55,30	62,50	79,10	74,50	79,40	82,50	100,00
PP	443	513	823	1,00	2,30	6,80	89,00	93,00	100,00	-	-
M_1	413	513	843	4,70	9,50	13,70	35,00	89,50	97,50	100,00	-
M_2	413	493	858	5,30	11,70	18,00	42,40	89,50	95,40	100,00	-
M_3	427	508	913	16,50	33,50	39,00	52,00	77,50	87,00	94,50	100,00
M_4	418	553	923	2,70	10,50	17,20	36,30	81,10	93,50	98,30	100,00

Skład (% wag):		PE	PCW	PP	PS
M_1		83,3	11,8	4,8	0,1
M_2		71,7	17,1	11,1	0,1
M_3		75,2	15,7	9,0	0,1
M_4		79,6	11,3	9,0	0,1

Wyniki analizy termogravimetrycznej podano w tablicy 1 i przykładowo na rys. 2.



Rys. 2. Krzywe termogravimetryczne dla PE i niektórych mieszanek tworzyw

Analiza wyników derywatograficznych wskazuje na to, że temperatura mięknienia dla badanych tworzyw i ich mieszanek waha się w granicach około 388-543 K, temperatura początku rozkładu w granicach około 493-663 K, a całkowity rozkład następuje do 923 K.

Produktami pirolizy są gaz i kondensat.

Tablica 2

Bilans masowy procesu pirolizy tworzyw sztucznych i ich mieszanek
(w % wagowych)

Próba	Gaz	Kondensat	Suma
PE	15,87	80,00	95,87
PS	14,11	82,50	96,61
PP	10,93	87,34	98,27
PCW	65,32	33,50	98,82
M ₁	29,95	66,25	96,20
M ₂	16,80	81,70	98,50
M ₃	26,80	71,20	98,00
M ₄	18,00	79,40	97,40

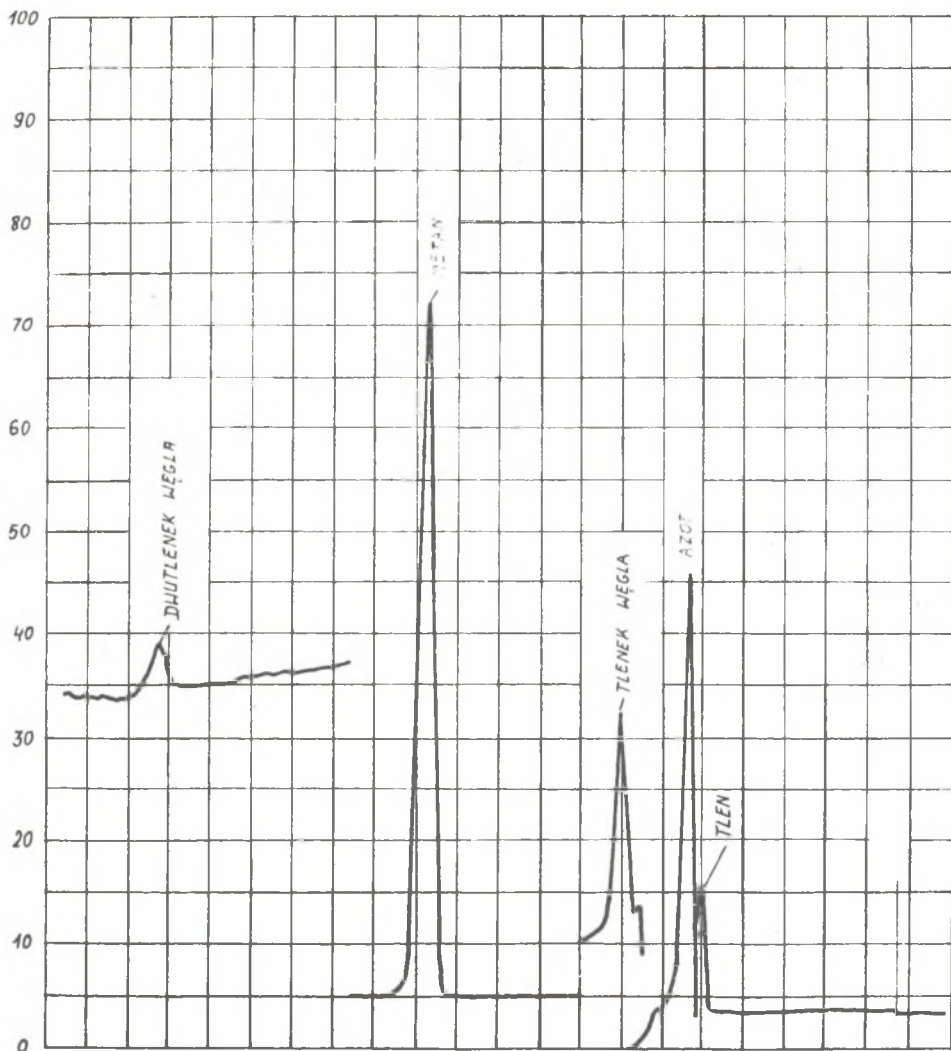
Początek wydzielania gazu zachodzi w granicach 553-663 K, przy czym gaz wydzielana się początkowo intensywnie, a w miarę dochodzenia temperatury do 873 K stopniowo wolniej. Porównując bilansy masowe czterech podstawowych tworzyw i ich mieszanek (tablica 2), zauważamy, że ilość gazu waha się w granicach około 10,93-29,95% wag, a ilość kondensatu w granicach około 66,25-87,34% wag bez uwzględnienia wyników dla PCW, które znacznie się różnią od pozostałych, gdyż ilość gazu jest wyższa i wynosi 65,32% wagowych (HCl), a ilość cieczy niższa od pozostałych i wynosi 33,5% wagowych. Chlorowódor usuwano w płuczce napełnionej 40% roztworem NaOH.

Przeprowadzono analizę produktów pirolizy. Ze względu na wstępne przepłukiwanie reaktora azotem oznaczenie składu próbek gazowych wykonano w dwóch etapach.

W pierwszym etapie oznaczono zawartość tlenu, azotu, tlenku węgla i dwutlenku węgla. Do tego celu zastosowano chromatograf firmy Perkin-Elmer model 3920 z detekcją ciepłno-przewodnościową. Do rozdzielania użyto kolumny kwasoodpornej o długości 3,6 m i średnicy wewnętrznej 2,7 mm, wypełnionej węglem aktywnym o uziarnieniu 30-60 mesh firmy Applied Science.

Kolejność eluacji poszczególnych składników jest następująca: tlen, azot, tlenek węgla, metan i dwutlenek węgla. Przykładowy chromatogram przedstawiono na rys. 3.

W drugim etapie oznaczono w badanych próbkach zawartość węglowodorów. Do tego celu zastosowano chromatograf firmy Perkin-Elmer z detekcją płomieniowo-jonizacyjną. Jako kolumny rozdzielczej użyto rurki ze stali kwasoodpornej o długości 6,0 m i średnicy wewnętrznej 4,0 mm wypełnionej dwu-



Rys. 3. Chromatogram próbki gazu z pirolizy tworzyw sztucznych - kolumna z węglem aktywnym

metylosulfolanem naniesionym w ilości 20% wag. na Chromosorb P-NAW o uziarnieniu 80-100 mesh.

Przykładowy chromatogram przedstawiono na rys. 4.

Wodór oznaczano w rozszerzonym aparacie Orsat'a przez spalenie w pipiecie z płaszczem wodnym i spiralą platynową. Wyniki analiz gazów z pirolizy tworzyw i ich mieszanek podano w tablicy 3.

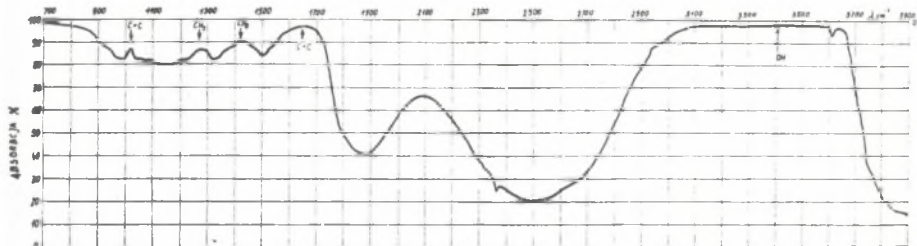
Tablica 3

Wyniki analiz gazowych produktów pirolizy tworzyw sztucznych i ich mieszanek

Lp.	Próba Skład, % obj.	PE	PS	PP	PCW	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	
1	Wodór	3,13	2,90	0,19	4,90	3,80	2,90	3,11	3,3	
2	Metan	7,84	21,22	22,14	3,43	8,84	17,56	10,72	17,01	
3	Etan	12,30	15,88	12,42		12,71	12,71	8,72	13,50	
4	Etylen	11,94	17,86	12,22	3,43	8,73	14,58	10,60	16,19	
5	Propan	18,19	6,91	2,52	0,92	13,45	8,15	5,80	8,49	
6	Propylen	Σ ₇ 6	16,90	16,68	24,84	0,88	14,83	12,62	8,15	12,99
7	Izobutan									
8	n-Butan	Σ ₉ 8	8,50	2,36	0,16	0,40	6,42	2,62	2,04	2,91
9	Neopentan									
10	Buten-1		7,79	3,16	0,61	0,25	5,61	4,21	3,00	4,98
11	Izobutylen		1,38	3,95	13,75	ślady	1,98	0,65	0,23	0,52
12	t-Buten-2	Σ ₁₃ 12	1,70	1,08	0,51	0,09	1,13	0,70	0,52	0,85
13	Izopentan									
14	c-Buten-2		1,12	0,89	0,36	0,04	0,86	0,51	0,27	0,60
15	n-Pentan	Σ ₁₆ 15	2,46	2,86	2,71	0,24	3,94	1,91	1,19	1,80
16	3-Metylobuten-1									
17	Butadien	Σ ₁₈ 17	1,90	1,68	1,14	0,01	1,13	1,07	0,68	1,30
18	2,2-Dwumetylobutan									
19	Penten-1		1,95	0,99	0,52	0,08	2,52	2,22	1,53	2,41
20	2-Metylobuten-1		0,36	0,59	1,10	ślady	0,26	0,03	0,08	0,04
21	t-Penten-2	Σ ₂₂ 21	0,20	0,79	1,02	0,08	0,72	0,33	0,27	0,35
22	2,3-Dwumetylobutan									
23	c-Penten-2	Σ ₂₄ 23	0,10	0,20	0,40	0,04	0,27	0,09	0,07	0,12
24	2-Metylopentan									
25	3-Metylopentan		0,20	ślady	ślady	0,01	0,09	0,14	0,12	0,09
26	2-Metylobuten-2		0,15	ślady	0,34	0,01	0,17	0,06	0,07	0,06
27	n-Heksan		0,46	ślady	0,01	0,11	0,74	0,37	0,27	0,44
28	Składniki wyższe		1,43	ślady	3,04	0,05	1,76	2,00	1,34	2,40
29	Chlorowódór					85,43	10,04	14,57	41,22	9,65

Ciepło spalania kondensatu uzyskanego z pirolizy tworzyw i ich mieszanek wyznaczano w bombie kalorymetrycznej uzyskując wyniki w granicach około $44,34-45,42 \cdot 10^3$ kJ/kg.

Kondensaty poddano również analizie spektrofotometrycznej w podczerwieni, stosując spektrofotometr Unicam SP-1000. Do badań stosowano próbkę w postaci filmu kapilarnego naniesionego na płytkę NaCl.



Rys. 5. Widmo analizy spektrofotometrycznej w podczerwieni dla kondensatu po pirolizie PE

Przykładowo widmo analizy spektrofotometrycznej w podczerwieni przedstawiono na rys. 5. Widmo w podczerwieni dla kondensatu po pirolizie PE wskazuje na obecność następujących grup:

- OH przy liczbie falowej 3400 cm^{-1} , CH_3 , CH_2 przy liczbie falowej 2930, 2850, 1460 i 1390 cm^{-1} , C = C - przy liczbie falowej 1635, 1650, 910 i 1000 cm^{-1} .

Widmo wykazuje brak połączeń aromatycznych. Badana próbka zawiera grupy charakterystyczne dla połączeń olefinowych.

Widmo w podczerwieni dla kondensatu po pirolizie PS wskazuje na obecność:

- połączeń aromatycznych przy liczbie falowej 700 cm^{-1} , 780 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , 1500 cm^{-1} ponad 3000 cm^{-1} oraz w zakresie $1690-1950 \text{ cm}^{-1}$ (jednopodstawiony pierścień benzenowy);
- grup CH_3 i CH_2 - przy liczbie falowej 2930, 2860, 1380 i 1450 cm^{-1} ;
- C=C przy liczbie falowej 1635, 910 i 1000 cm^{-1} .

Brak pasm absorpcyjnych charakterystycznych dla grup hydroksylowych i estrowych. Badane widmo zawiera wszystkie pasma charakterystyczne dla styrenu oraz dodatkowe pasma przy liczbie falowej 750 cm^{-1} i 1380 cm^{-1} pochodzące prawdopodobnie od zanieczyszczeń.

Widmo w podczerwieni dla kondensatu po pirolizie PP wskazuje na obecność następujących grup charakterystycznych:

- CH_3 , CH_2 przy liczbie falowej 2900, 1470 i 1390 cm^{-1} ;
- C=C przy liczbie falowej 890, 980, 1655 cm^{-1} ;
- =CH przy liczbie falowej 3080 cm^{-1} .

Brak pasm absorpcyjnych, charakterystycznych dla grup hydroksylowych, estrowych i połączeń aromatycznych.

Badane widmo zawiera wszystkie pasma absorpcyjne charakterystyczne dla widma propylenu. Badana próbka stanowi oligomer propylenu z niewielką ilością pasm "obcych".

Widmo w podczerwieni dla kondensatu po pirolizie PCW wykazuje obecność następujących grup:

- OH przy liczbie falowej 3400 cm^{-1} , CH_3 , CH_2 przy liczbie falowej 2930, 2860, 1380 i 1460 cm^{-1} , C=C przy liczbie falowej 3020, 1610, 970 i 880 cm^{-1} .

Na badanym widmie występuje bardzo słabe pasmo grupy C=O. Brak jest połączeń aromatycznych. Badana próbka zawiera grupy charakterystyczne dla połączeń olefinowych.

Własności kondensatów wskazują na możliwość ich wykorzystania zarówno energetycznego, jak i do przeróbki chemicznej.

3.2. Badania nad pirolizą zużytych opon

Proces prowadzono w temperaturach 773, 973 i 1073 K, ponieważ na podstawie badań wstępnych okazało się, że wydzielanie gazu rozpoczyna się w temperaturze 773 K, następnie proces przebiega intensywnie w temperaturze 973 do 1073 K, a w temperaturze 1123 K wydzielanie gazu ustaje.

Pirolizie poddawano opony bez kordu po rozdrobnieniu. Piroliza opon wykonywana w posiadanej instalacji następczała szereg trudności tak na etapie przygotowania próbek do badań, jak i w czasie prowadzenia procesu.

Średni bilans masowy pirolizy opon przedstawia się następująco (w % wag.):

	773 K	973 K	1073 K
Produkt stały	60,5	52,0	44,0
Ciecz	30,3	27,9	17,7
Gaz	6,8	18,2	26,2
Straty	2,4	1,9	2,1
Zużycie energii na 1 kg wsadu MJ/kg	4,2	5,7	4,6

Uśrednione wyniki analiz gazowych (metodyka jak dla gazów po pirolizie tworzyw sztucznych) ciekłego i stałego produktu pirolizy zużytych opon zestawiono odpowiednio w tablicach 4, 5 i 6.

Ciepło spalania ciekłego produktu z pirolizy opon waha się w granicach około 25620-44215 kJ/kg. Poddając kondensat destylacji, uzyskano około 37,5-49,1% wagowych frakcji lekkiej i około 50,9-62,5% wagowych frakcji ciężkiej.

Stały produkt z pirolizy opon zbadano na zawartość pierwiastków elementarnych - C, H, N, S i popiołu. Zawartość węgla i wodoru oznaczano metodą Sheffielda, azotu metodą Kjeldahla, siarki całkowitej - metodą katalitycznego spalania. W temperaturze 1173 K zawartość części lotnych wyno-

Tablica 4

Uśrednione wyniki analiz gazów z pirolizy opon

Temperatura prowadzenia procesu, K	Skład gazu, % obj.												Gęstość kg/Nm ³	Ciepło spalania kJ/Nm ³
	O ₂	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	C ₄ H ₆	C ₄ H ₁₀		
773	0,8	6,2	3,9	11,0	17,6	23,6	9,3	6,0	3,9	3,6	12,1	2,0	1,4623	49745
973	0,6	3,0	2,4	8,9	25,0	26,5	7,8	9,1	2,1	0,2	11,8	2,6	1,0627	46860
1073	0,5	3,2	3,0	3,4	41,0	37,1	2,4	9,0	0,1	ślady	-	0,3	0,7760	29308

Tablica 5

Uśrednione wyniki analiz ciekłego produktu z pirolizy opon

Oznaczenie	Temperatura prowadzenia procesu, K		
	773	973	1073
Gęstość, g/cm ³	0,8806	0,9730	1,1250
Ciepło spalania, kJ/kg	44215	42080	25620
Fracja lekka, % wag. (odbierana w temperaturze 313-423 K)	41,2	49,1	37,5
Fracja ciężka, % wag. (odbierana powyżej 423 K)	58,8	50,9	62,5

Tablica 6

Uśrednione wyniki analiz stałego produktu z pirolizy opon (w % wag.)

Oznaczenie	Temperatura prowadzenia procesu, K		
	773	973	1073
Wilgotność	1,10	0,90	0,80
Popiół	7,00	8,10	9,20
Części lotne	36,20	20,10	3,60
Zawartość C,	84,10	85,70	86,14
Zawartość H,	3,60	2,10	0,96
Zawartość S,	0,90	0,60	0,90
Zawartość (O+N)	3,30	2,60	2,00
Ciepło spalania, kJ/kg	35350	33390	31080

si już tylko około 4%. Wszystkie badane gazy okazały się jednak wysokokaloryczne (pow. 23000 kJ/Nm³).

Stosunkowo wysoka zawartość części lotnych w stałym produkcie pirolizy dla temperatury prowadzenia procesu - 773 i 973 K (około 36 i 20% wag.) pozwala uznać te produkty za techniczne paliwo, które można zastosować

podobnie jak węgiel koksujący. Nieznaczna zawartość popiołu (poniżej 9% wag.) i S (pon. 1% wag.) czyni ze stałego produktu pirolizy zużytych opon wysokogatunkowe paliwo.

Odpowiednią temperaturą prowadzenia pirolizy opon jest więc temperatura 973 K.

4. Podsumowanie

W wyniku procesu pirolizy tworzyw sztucznych otrzymujemy mieszaninę gazów i kondensat. Uzyskany w procesie pirolizy gaz jest bogatą mieszaną węglowodorów z niewielką ilością wodoru i może być zastosowany do syntez organicznych i jako gaz opałowy.

Pomimo znacznych trudności wynikających z gwałtowności procesu, konieczności cięcia opon, niejednorodnego składu wsadu do pirolizy i otrzymanych frakcji, nieprzyjemnego zapachu produktów pirolizy opon i ich skłonności do polimeryzacji itp. wskazane jest unieszkodliwianie złomu gumowego metodą pirolizy, ponieważ uzyskiwane w ten sposób węglowodory można traktować jako interesujący surowiec chemiczny. Wszystkie produkty pirolizy opon, jak wykazały badania, mogą być wykorzystane jako paliwa. Przeprowadzone badania wykazują możliwość unieszkodliwiania odpadów sztucznych i złomu gumowego metodą odgazowania, przy czym obok celu likwidacji osiąga się możliwość uzyskania z odpadów energii w formie zdolnej do magazynowania (gaz, kondensat), produktu stałego i ewentualnie innych surowców (kord stalowy).

Na temat zagranicznych badań nad pirolizą odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych piszą m.in. Kaminsky i Sinn [6, 8] oraz Bilitewski i Mönnig [19].

W literaturze daje się odczuć brak danych co do metodyki stosowanych badań i oznaczeń. Publikacje zagraniczne dostarczają najczęściej wiadomości nie wyczerpujących całości złożonego procesu. Zaistniała zatem pilna potrzeba wypracowania metodyki badań i sprawdzenia jej przydatności w procesie pirolizy odpadów z tworzyw sztucznych i zużytych opon samochodowych w warunkach polskich.

Wyniki badań własnych znalazły potwierdzenie w literaturze, a różnice spowodowane są innymi warunkami prowadzenia procesu i zastosowaniem materiałów odbiegających składem od zagranicznych.

LITERATURA

- [1] Bryła Z., Pieczaba G.: Utylizacja odpadów użytkowych z tworzyw sztucznych. Materiały informacyjne Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych w Mikołowie. 1974.

- [2] Materialien zum Abfallwirtschaftsprogramm 175/III: "Kunststoffabfälle". Umweltbundesamt, Berlin, Materialien 2/76.
- [3] Kajdas C., Czaohowska D.: Możliwości utylizacji zużytych opon samochodowych i złomu gumowego. Przemysł Chemiczny 12/1976.
- [4] Materialien zum Abfallwirtschaftsprogramm 175/IV: "Altreifen". Umweltbundesamt, Berlin, Materialien 2/76.
- [5] Pomrehn H., Reisner A., Rodegast M.: Nutzung von Sekundärrohstoffen I. Verwertung von Plasten und Altreifen. Akademie der Wissenschaften der DDR Wissenschaftliches Informationszentrum. Berlin 1978.
- [6] Kaminsky W., Sinn H.: Thermische Verwertung von Kunststoffen aus der getrennten Sammlung und der mechanisierten Sortierung von Haushaltsabfällen. Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Berlin 1, Materialrecycling aus Haushaltsabfall, Hrg. Jäger B., Thomé-Kozmiensky K.J. Berlin 1978.
- [7] Matsumoto K., Kurisu S., Oyamoto T.: Development of Process of fuel recovery by thermal decomposition of waste plastics. Conversion of Refuse to Energy, Montreux - Switzerland, 3-5. 11. 1975, Conference Papers, Zürich.
- [8] Sinn H.J., Kaminsky W.: Thermische Verwertung von Kunststoffen und Gummialfällfen. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, 2, Neue Technologien zur Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag Bielefeld 1977, Hrg. Thomé-Kozmiensky K.J.
- [9] Tsutsumi S.: Thermal and steam cracking of waste plastics. Conversion of Refuse to Energy, Montreux - Switzerland, 3-5. 11.1975. Conference Papers, Zürich.
- [10] Nels Ch.: Von der Bundesregierung geförderte Projekte. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis 2, Neue Technologien zur Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag Bielefeld 1977, Hrg. Thomé-Kozmiensky K.J.
- [11] Piętka J., Mastalerz J., Martuszewski E.: Destrukcja termiczna odpadów gumowych. Opracowanie końcowe. Zakład Badawczo-Doświadczalny przy Wojewódzkim Zjednoczeniu Gospodarki Komunalnej i Mieszkaniowej w Katowicach. Katowice 1974-1978.
- [12] Hamabe J., Tsugeno T., Nozu S.: Pyrolyzing test of Municipal waste in Japan. Conversion of Refuse to Energy, Montreux - Switzerland, 3-5. 11.1975. Conference Papers, Zürich.
- [13] Takamura A., Inoue K., Sakai T.: Resources recovery by pyrolysis of waste tires. Conversion of Refuse to Energy, Montreux - Switzerland, 3-5.11.1975. Conference Papers, Zürich.
- [14] Bracker K.P., Riemann H.H.: Vorteile pyrolytischer Rohstoffrückgewinnung. Metall 5/1977.
- [15] Kopic P.: Sprawozdanie z badań nad procesem pirolizy opon samochodowych w skali półtechnicznej. GZCh "Carbochem", Gliwice 1972.
- [16] Czaohowska D.: Badania nad składem i wykorzystaniem ciekłych produktów z pirolizy opon samochodowych. Praca doktorska. Gliwice 1979.
- [17] Suchańska J.: Opracowanie prognozy rozwoju produkcji półproduktu do folii opakowaniowych do 1990 r. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych w Mikołowie. Zakład Badań Ekonomicznych w Gliwicach.
- [18] Schultze D.: Termiczna analiza różnicowa. PWN, Warszawa 1974.
- [19] Bilitewski B., Mönning A.: Entgasung mit einem kontinuierlich betriebenen Laborreaktor und Aktivierung der festen Rückstände. Abfallwirtschaft an der Technischen Universität Berlin 2, Thermische Behandlung von Haushaltsabfällen. Berlin 1978, Hrg. Thomé-Kozmiensky K.J.

ПИРОЛИЗ ОТБРОСОВ ПЛАСТМАСС И СРАБОТАННЫХ АВТОШИН
КАК ИСТОЧНИК ТОПЛИВА И ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Р е з ю м е

В статье обсуждены собственные исследования пиролиза отходов пластмасс и сработанных автошин на фоне актуального состояния и направлений в развитии работ, касающихся проблемы обезвреживания отходов в стране и за границей.

Испытания были ведены на лабораторной модели с целью определения оптимальных параметров проведения процесса и анализа веществ с точки зрения возможности их применения в качестве топлива и химического сырья.

В исследованиях применялся электрометрический, термогравиметрический, хроматографический и спектрофотометрический анализ.

THE PYROLYSIS OF PLASTICS WASTES AND DISUSED CAR TYRES
AS A SOURCE OF FUELS AND CHEMICAL RAW MATERIALS

S u m m a r y

On the background of state and trends of researches concerning the neutralization of plastics and disused car tyres performed in this country as well as abroad, the paper discussed the pyrolysis of this kind of waste materials. These investigations were carried out on laboratory model installations. Their chief aim was to determine the most favourable process parameters and to test the applicability of the obtained products as fuels and chemical raw materials.

The elementary, thermogravimetric, chromatographic, and spectrophotometric analyses were utilized in the course of these researches.