



Thermal disposal of municipal waste on a grid - is it a proper technology?

Tomasz BUTMANKIEWICZ¹, Piotr DZIUGAN², Marcin KANTOREK³, Henryk KAR CZ⁴, Krzysztof WIERZBICKI⁵

^{1,4} ZBUS-TKW Combustion Głowno, ul. Sikorskiego 120, 95-015 Głowno,
tel.: 42-71-90-083, fax: 42-71-93-221, e-mail: biuro@zbus-tkw.pl

² Politechnika Łódzka, Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, ul. Wólczańska 171/173, 90-924 Łódź,
tel.: 42-63-63-639, fax: 42-63-65-976, e-mail: itfm@p.lodz.pl

³ Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Zakład Kotłów i Turbin,
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław,
tel.: 71-32-02-322, fax: 71-32-83-818, e-mail: marcin.kantorek@pwr.wroc.pl

⁵ Instytut Techniczno-Przyrodniczy, ul. Rakowiecka 32, 02-532 Warszawa,
tel.: 22-54-21-100, fax: 22-54-21-150, e-mail: k.wierzbicki@itep.edu.pl

Abstract

The problem of the energy use of biomass coming from the municipal waste is particularly relevant in terms of Polish obligations arising from the Accession Treaty and the law on waste, concerning reduction of storage of biodegradable waste. However, a comprehensive study of physicochemical and kinetic properties of the basic morphological types of waste, have shown that the incineration of waste mixtures with the use of the common grate technology, does not provide a completely ecologically pure disposal. The variety of physicochemical properties of different morphological varieties creates products of utilization that are considered as waste. Because the formed ash and slag may contain up to 30% of combustible material and should be stored further on or re-utilized.

Keywords: municipal waste, boiler, thermal utilization

Streszczenie

Czy właściwa jest termiczna utylizacja odpadów komunalnych na ruszcie?

Problem energetycznego wykorzystania biomasy z odpadów komunalnych jest szczególnie istotny w aspekcie zobowiązań Polski wynikających z Traktatu Akcesyjnego, a także z ustawy o odpadach, dotyczących redukcji składowanych odpadów ulegających biodegradacji. Jednak kompleksowe badania własności fizykochemicznych i kinetycznych podstawowych rodzajów morfologicznych, odpadów wykazały że spalanie mieszaniny odpadów przy pomocy powszechnie stosowanej technologii rusztowej, nie prowadzi do całkowicie czystej ekologicznie utylizacji. Różnorodność własności fizykochemicznych poszczególnych odmian morfologicznych powoduje powstanie produktów utylizacji, które są odpadami. Powstały bowiem popiół i żużel zawierać mogą nawet 30% części palnych i muszą być w dalszym ciągu składowane lub poddane ponownej utylizacji.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, kocioł, termiczna utylizacja.

1. Wstęp

W Polsce nie istnieje efektywny ekonomicznie i ekologicznie system odzysku oraz recyklingu odpadów. To zaś powoduje, że brakuje pieniędzy na inwestycje związane z zagospodarowaniem odpadów poprzez budowę zakładów do segregowania, spalania czy kompostowania. Dotychczas podstawę do postępowania z odpadami stanowił recykling organiczny - kompostowanie i fermentacja. Zaostrzenie jednak wymogów dla produkowanych kompostów pociąga za sobą konieczność zagospodarowania w inny sposób wytworzonego kompostu, który nie spełnia ustalonych norm. Alternatywą, która w inny sposób może przekształcić biomase z odpadów komunalnych jest przekształcenie termiczne.

Alternatywa ta jest szczególnie cenna z uwagi na fakt włączenia przez UE odpadów komunalnych, ulegających biodegradacji do definicji odnawialnych źródeł energii- dyrektywa 2001/77/WE.

Jednym z podstawowych celów jest zredukowanie w określonych terminach strumienia masy odpadów ulegającej biodegradacji. Realizacja tego celu, co wyraźnie udowadniają takie strategiczne dokumenty rządowe jak Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2010 oraz tzw. lista indykatorywna dużych projektów, zatwierdzona w listopadzie 2007r. przez Radę Ministrów w ramach II osi priorytetowej Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko, nie będzie możliwa, bez wdrożenia instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych, szczególnie w systemach gospodarki odpadami komunalnymi dużych polskich miast czy w systemach o znaczeniu regionalnym.

Zapisane w Traktacie Akcesyjnym oraz w krajowych ustawach i rozporządzeniach zobowiązania oraz obowiązki związane z uporządkowaniem krajowej gospodarki odpadami komunalnymi wyznaczają konkretne cele, skójarzone z konkretnymi datami ich osiągnięcia. Wyznaczone cele muszą być osiągnięte poprzez wybudowanie elektrociepłowni opalanych odpadami ulegającymi spalaniu, które spełnić mają dwa podstawowe cele:

- po pierwsze zapewnić możliwość wypełnienia przyjętych zobowiązań w zakresie redukcji odpadów ulegających biodegradacji,
- a po drugie dostarczyć znaczące ilości energii elektrycznej i ciepła, w tym w znacznej części traktowanych, jako energia ze źródeł odnawialnych.

Analiza techniczna i technologiczna potencjalnych paliwa energetycznych wytworzonych z odpadów komunalnych wykazała, że najbardziej ekonomicznym i ekologicznym sposobem Energetycznego Recyklingu Odpadów jest wytworzenie Formowanych Alternatywnych Paliw w postaci brykietów lub peletów służących do opalania kotłów elektrociepłowni pracujących w układzie kogeneracji, łączącej w sobie układ turbogeneratora parowego i turbogeneratora ORC.

Propozycja zasilania układów kotłowych przez APE w postaci FAPE wynika bowiem z analizy logistycznej podawania paliwa do elektrociepłowni. Zasilanie elektrociepłowni FAPE w pierwszej kolejności zmniejsza objętość podawanego paliwa, a w drugiej kolejności zmniejsza zawilgocenie i zwiększa kaloryczność. Jest to prawidłowość niezależna od stosowanych technologii i rodzaju urządzeń do brykietowania i peletowania biomasy z wyselekcjonowanych frakcji odpadów komunalnych i przemysłowych. Najbardziej prosty sposób wytwarzania FAPE jest bowiem związany zawsze z częściowym pozbawieniem odpadów wilgoci i wzrostem ciepła spalania, co stanowi najbardziej racjonalny technologicznie i ekonomicznie wariant energetyczny. Oznacza to konieczność budowy zakładów zagęszczających palne części w bezpośrednim sąsiedztwie wysypisk i sortowni odpadów. W konsekwencji jest to „dar natury”, który umożliwia oddzielenie uciążliwych wysypisk, składowisk i sortowni odpadów od elektrociepłowni opalanych wytworzonym FAPE, usytuowanych w ośrodkach zurbanizowanych, w których istnieje możliwość odbioru wyprodukowanej energii cieplnej bez przykrych i uciążliwych konsekwencji dla miejscowej ludności.

Wymaga to podjęcia kompleksowych i systematycznych działań w zakresie budowy zakładów przygotowania i termicznego przetwarzania odpadów oraz logistyki ich dostarczania.

Jednocześnie Dyrektywa 2011/77/WE w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych nakłada na Polskę obowiązek osiągnięcia 15 % energii z OZE na rok 2012. Uzyskanie części energii ze spalania odpadów komunalnych za energię ze źródeł odnawialnych stanowi jedną z istotnych przesłanek ekonomicznych, wspierających rozwój instalacji spalania odpadów [1-2].

Jako metodę rozliczania udziału energii ze źródeł odnawialnych w ciepłe wytwarzanym podczas termicznego przekształcania odpadów w spalarni odpadów przyjęto metodę ryczałtową ustalającą jedną, jednakową dla dużych polskich miast lub danego regionu kraju, wartość udziału energii chemicznej zawartej we frakcjach ulegających biodegradacji w energii chemicznej całej masy kierowanych do termicznego przekształcania odpadów.

Biorąc pod uwagę uśredniony skład materiałowy odpadów z różnych miast Polski oraz uśrednione dane dotyczące wilgotności, zawartości wodoru oraz ciepła spalania poszczególnych frakcji materiałowych odpadów, pochodzące z badań odpadów w miastach polskich oraz z danych literaturowych zaproponowano przyjęcie dla Polski wartości ryczałtowej udziału energii ze źródeł odnawialnych podczas spalania odpadów na poziomie 42%. Projekt Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 17 września 2009r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów

komunalnych, jako energii z odnawialnego źródła energii, zakłada przyjęcie tej wartości, jako wartości kwalifikującej część energii odzyskanej z termicznego przekształcenia odpadów komunalnych, jako energii odzyskanej z odnawialnego źródła energii.

Wyznaczony przy powyższych kryteriach strumień odpadów komunalnych zaliczanych do biomasy będzie w 2013 roku wynosił 500 tys. Mg. Z jednej strony jest to optymistyczna informacja, gdyż stwarza możliwość wypełnienia zobowiązań wynikających ze świadectw pochodzenia "zielonej energii", a z drugiej strony obliuguje Polskę do wyłożenia olbrzymich środków na budowę infrastruktury, przygotowania spalania i wykorzystywania wyprodukowanej energii do celów energetycznych. Odzysk ciepła wytwarzanego w tym procesie i jego efektywne wykorzystanie stało się już obligatoryjne.

Funkcjonowanie elektrociepłowni opalanej APE pochodzących z odpadów uwarunkowane jest lokalnymi możliwościami i potrzebami w zakresie przesyłania i wykorzystania wyprodukowanej energii. Najbardziej sprawny technicznie i elastyczny eksploatacyjnie jest hybrydowy układ instalacji składającej z się turbozespołu parowego i olejowego ORC pracujących w skojarzeniu. Jednak stosowane w instalacji kotły z rusztami schodkowymi lub rusztami obrotowymi stwarzały również wiele niedogodności eksploatacyjnych pod względem niezawodności pracy- duża awaryjność oraz jakość spalania i selektywność spalanych odpadów. Kotły te charakteryzują się dużym niedopałem w postaci karbobjadła w żużlu oraz w lotnym koksiku. Ograniczenie emisji substancji szkodliwych do atmosfery metodami "pierwotnymi" w procesie spalania jest również niemożliwe do zrealizowania. Z uwagi na wysoką zawartość NO_x i SO_x oraz par metali ciężkich w spalinach opuszczających komorę spalania kotła, koniecznym jest stosowanie drogich metod oczyszczania spalin z emitowanych szkodliwych substancji metodami "wtórnymi", w układach zainstalowanych w ciągu spalin odprowadzanych do komina. Z technologicznego punktu widzenia stosowane dotychczas instalacje do termicznej utylizacji odpadów wykorzystujące techniki spalania na rusztach nie dawały praktycznie żadnych możliwości ograniczenia emisji substancji szkodliwych do otoczenia metodami "pierwotnymi" oraz nie dają możliwości spalania odpadów w innej postaci jak w postaci ciała stałego o odpowiedniej granulacji i wilgotności. Praktycznie nie możliwe jest spalanie osadów ściekowych oraz substancji mazistych, pulp i ciał stałych o wilgotności wyższej od 50%. Powyższe utrudnienia i ograniczenia oraz zdarzające się zrzuty zanieczyszczonych spalin lub wytworzonych popiołów zawierających znaczne ilości niedopału, które tworzą nowy odpad konieczny do dalszej utylizacji, spowodowały obawy ekologów i protesty ludności przeciwko termicznej utylizacji, która przy zastosowaniu poprawnej technologii spalania jest praktycznie jedyną technologią „zieloną” utylizacji odpadów pozwalającą uzyskać minimalną emisję substancji szkodliwych do otoczenia i maksymalną sprawność termiczną energetycznego recyklingu odpadów, które zgodne z obowiązującymi przepisami unijnymi i krajowymi w blisko 40% są biodegradowalne i stanowią biomasę zaliczaną do odnawialnych źródeł energii (OZE) [4-5].

2. Skład morfologiczny odpadów komunalnych

Skład morfologiczny odpadów komunalnych jest w dużej mierze uzależniony od regionu kraju oraz od rodzaju aglomeracji. Odpady pochodzące z uprzemysłowionej, zurbanizowanej części kraju, morfologicznie znacznie różnią się od odpadów pochodzących z obszarów wiejskich czy małomiasteczkowych. Niezależnie od tych czynników można jednak z całą pewnością przyjąć że głównymi składnikami morfologicznymi odpadów niezależnie od ich udziału masowego są następujące substancje organiczne i nieorganiczne:

- 1-odpady ceramiczne,
- 2-odpady szklane,
- 3-odpady metalowe,
- 4-odpady drewna budowlanego,
- 5-odpady makulatury papierowej,
- 6-odpady makulatury kartonowej,
- 7-odpady tworzyw sztucznych,
- 8-odpady PCV,
- 9-odpady tekstylne,

- 10-odpady skórzane,
- 11-odpady gumowe,
- 12-odpady organiczne pochodzenia roślinnego,
- 13-odpady organiczne mięsne,
- 14-odpady organiczne kostne,
- 15-brykiety z drewna mieszanego,
- 16-pelety z drewna mieszanego,
- 17-osady ściekowe.

Odpady 1÷3 zawierające ceramiczne odpady budowlane, szkło oraz metale żelazne i metale kolorowe są odpadami niepalnymi i powinny być usunięte z ogólnej masy odpadów w procesie sortowania ręcznego i sortowania mechanicznego bezwzględnie przed procesem termicznej utylizacji.

Pozostałe substancje odpadów (4÷14) są to odpady palne organiczne i nieorganiczne. Odpady te powinny podlegać segregacji gabarytowej z uwagi na wielkość urządzeń transportujących oraz urządzeń procesu suszenia i procesu termicznego rozkładu. Zmniejszenie wymiarów gabarytowych, szczególnie drewna budowlanego, powoduje wzrost gęstości nasypowej i znaczne obniżenie objętości urządzeń technologicznych instalacji.

Dodatkowym rozwiązaniem problemu powinno być rozdrobnienie odpadów do takich rozmiarów aby mogła nastąpić paletyzacja, brykietyzacja lub zagęszczenie do postaci kęsów o rozmiarach nie większych jak 120mm. Sprasowana postać odpadów jest najbardziej ekonomicznym i ekologicznym rozwiązaniem logistycznym dostarczania odpadów ze składowiska do instalacji termicznej utylizacji. Powstałe w wyniku procesu rozdrobnienia i sprasowania formowane alternatywne paliwo (FAPE) posiada w zależności od rodzaju substancji stopnia sprasowania gęstość nasypową (D'_n) w granicach 400÷600 kg/m³ oraz wilgotność w granicach (W^f) 5-15%, co w przypadku gęstości jest dwukrotnie większe w stosunku do odpadów luźno ułożonych, a w przypadku wilgotności jest 3-4 krotnie mniejsze od wilgotności materiału surowego.

Wykonanie sortowania i sprasowania odpadów z jednej strony daje wysokokaloryczne paliwo (FAPE) a z drugiej strony umożliwia usytuowanie instalacji do termicznej utylizacji odpadów w środowisku wysoce zurbanizowanym, lecz posiadającym możliwości odbioru wytworzonej energii cieplnej. Jako alternatywne paliwo do spalania w instalacji (termicznej utylizacji odpadów) można użyć biomasy pochodzącej z drewna leśnego lub z innych upraw rolniczych. Sprasowana substancja biomasy roślinnej może spełniać zamiennie rolę paliwa w instalacji utylizacji odpadów.

Najkorzystniej jest wówczas, gdy biomasa jest również zagęszczona do formy peletów, brykietów lub kęsów. Biomasa w takiej formie może być podawana do instalacji łącznie z FAPE pochodzącym z odpadów lub może być spalona samodzielnie.

Opadem który może być utylizowany w instalacji są również osady ściekowe powinny być przed dostarczeniem do instalacji poddane procesowi naturalnego odsączenia na lagunach w oczyszczalni ścieków lub powinny być odwodnione mechanicznie w wirówkach lub prasach.

Częściowo pozbawiony wody osad ściekowy może być poddany procesowi termicznej utylizacji samodzielnie lub może być spalony w dowolnych proporcjach masowych łącznie z FAPE pochodzącym z odpadów lub współspalony łącznie z biomasą.

3. Własności fizykochemiczne podstawowych składników odpadów, osadów ściekowych i biomasy pochodzącej z drewna

Własności fizykochemiczne podstawowych składników morfologicznych odpadów komunalnych podane zostały w tabeli nr 3.1. W celach porównawczych podano również własności fizykochemiczne biomasy pochodzącej z drewna oraz osadów ściekowych pochodzących z oczyszczalni ścieków „GOS” Łódź.

Parametrami substancji palnej które w decydujący sposób wpływają na proces zapłonu jest zawartość wilgoci i zawartość popiołu. Zawartość wilgoci oraz sposób rozmieszczenia i struktura fizyczna substancji mineralnej ma natomiast duży wpływ na proces termicznego rozkładu, szybkość wydzielania się gazów pirolitycznych i reakcyjność karbonizatu.

Substancja mineralna może bowiem wchodzić w chemiczny skład substancji organicznej lub może tworzyć odrębne struktury połączone fizycznie z substancją organiczną lub może otaczać je. Wpływ i oddziaływanie substancji mineralnej objawia się w różny, często nieprzewidywalny sposób zarówno w fazie suszenia, w fazie wydzielania się części lotnych, jak i w fazie spalania karbonizatu.

Tabela nr 3.1. Wyniki analizy technicznej i elementarnej głównych składników odpadów komunalnych

Lp.	Rodzaj substancji	A ^r %	W ^r %	V ^r %	Q _i ^r kJ/kg	C ^r %	H ^r %	O ^r %	N ^r %	S ^r %	Cl ^r %	K ^r %	M ^r %	A _k ^d %	V _k ^d %	K _k ^d %	C _k ^d %
1.	Odpady z drewna budowlanego	0,40	20,00	65,60	14460	40,80	4,80	33,35	0,20	0,10	0,35	14,00	79,60	0,54	82,00	17,06	96,48
2.	Odpady papierowe (makulatura)	14,0	23,20	59,88	9430	28,80	4,10	29,10	0,30	0,20	0,10	9,12	62,00	19,27	77,97	2,76	100,00
3.	Odpady z kartonów	9,14	20,12	65,51	11190	34,67	4,10	31,70	0,20	0,10	0,23	5,23	70,74	5,42	88,26	6,55	100,00
4.	Odpady z tworzyw sztucznych	3,48	1,34	69,74	24960	60,88	8,74	21,03	1,01	1,28	2,26	25,44	95,18	3,52	70,69	25,79	94,68
5.	Odpady z PCV	7,26	0,68	64,25	25480	38,06	5,04	43,90	0,39	0,73	4,66	27,48	91,99	7,51	64,83	27,86	78,37
6.	Odpady organiczne pochodzenia roślinnego	5,01	28,45	57,39	11305	40,60	4,42	21,00	0,30	0,01	0,01	9,15	66,54	7,00	80,27	12,79	100,00
7.	Odpady organiczne mięsne	4,82	35,72	55,61	18420	35,72	5,94	17,00	0,72	0,08	0,00	3,85	59,46	7,50	86,51	5,99	100,00
8.	Odpady organiczne kostne	40,16	4,84	30,45	10760	31,15	4,35	18,35	0,37	0,28	0,50	24,55	55,00	41,90	32,00	26,10	56,42
9.	Odpady tekstylne	3,18	16,28	69,05	20860	52,68	4,95	21,45	0,86	0,42	0,18	11,45	80,54	3,80	82,48	13,72	94,65
10.	Odpady skórzane	2,26	23,48	41,42	22460	31,87	4,82	35,92	0,96	0,68	0,01	32,84	74,26	2,95	54,15	42,90	86,02
11.	Odpady gumowe	12,84	5,94	35,07	24180	64,15	4,94	11,05	0,18	0,75	0,15	46,15	81,22	13,64	37,28	49,08	73,85
12.	Brykiety z drewna	0,66	11,84	72,00	16570	42,64	5,16	38,49	0,27	0,16	0,78	15,30	87,50	0,75	81,90	17,35	100,00
13.	Pelety z drewna	0,68	9,62	73,84	16810	43,95	5,89	38,59	0,29	0,17	0,81	15,86	89,70	0,75	81,70	17,55	100,00
14.	Osady ściekowe	9,42	78,12	8,89	1724	6,14	1,87	3,59	0,55	0,16	0,15	3,57	12,46	43,05	40,63	16,31	94,25

Oznaczenia użyte w tabeli:

-A, W, V, K, M, Q_i - odpowiednio: popiół, wilgoć, części lotne, karbonizat, masa palna, wartość opałowa.

-C, H, O, N, S, Cl: węgiel, wodór, tlen, azot, siarka, chlor.

-indeks górny r, d- stan roboczy, stan suchy.

-indeks dolny k- karbonizat.

Pomijając różne częste odstępstwa, można generalnie stwierdzić że wzrost zawartości wilgoci i substancji mineralnej, zawsze prowadzi do wzrostu czasu zapłonu substancji palnej. Rozpatrując zawartość wilgoci (W^r) i popiołu (A^r) w przedstawionych w tabeli 1 składnikach morfologicznych odpadów, należy zaznaczyć bardzo duży rozrzut szczególnie zawartości wilgoci (W^r). W dostarczonej próbce odpadów, zawartość wilgoci poszczególnych składników morfologicznych waha się od 0,68% do 28,45%. Zawartość wilgoci roboczej (W^r) jest ściśle uzależniona od strukturalnej budowy fizycznej danej substancji. Wilgotność osadów ściekowych w stanie dostarczonym (roboczym), przytoczona jako punkt odniesienia jest bardzo wysoka i sięga 78,12%, natomiast wilgotność brykietów i peletów pochodzących z drewna, które w stanie luźnym posiada wilgotność (W^r) około 40÷60%, po sprasowaniu posiada wilgotność rzędu 9,62÷11,84%. Zawartość wilgoci materiałów o bardzo dużej nasiąkliwości można znacznie zmniejszyć na drodze prasowania. Proces ten w istotny sposób obniża balastową zawartość wilgoci w paliwie i w zdecydowany sposób poprawia wartość energetyczną danej substancji, czego wskaźnikiem jest wartość opałowa (Q_i^r).

O szybkości wypalania karbonizatu, oraz o sposobie zachowania się spalanej substancji w istotny sposób decyduje ilość oraz skład elementarny substancji mineralnej z której po spaleniu powstaje popiół. Substancja mineralna może bowiem wchodzić w związki chemiczne z pierwiastkami (C, H, O, S, N), które tworzą substancję palną (guma, PCV, kości) i wówczas jest to tzw. substancja związana chemicznie lub może nie być związana chemicznie z substancją palną będącą substancją przybyszową, dającą się mechanicznie oddzielić np. w procesie flotacji. Skład chemiczny substancji mineralnej odgrywa natomiast bardzo istotną rolę w procesie termicznych przemian popiołu w trakcie spalania. Pierwiastki metali grupy alkalicznych (Mg, Ca), oraz litowców (Na, K) w bardzo istotny sposób obniżają temperatury fizyczne popiołu (spiekania, mięknięcia, topnienia i płynięcia). W przeciwieństwie do tych grup pierwiastkowych, pierwiastki grupy węglowców (Si), borowców (Al.) oraz żelazowców (Fe, Co, Ni) charakterystyczne temperatury popiołu znacznie podnoszą.

Oznaczone zawartości popiołu (A^r) przedstawione w tabeli 1 wykazały że składniki morfologiczne odpadów pochodzących z organicznych substancji roślinnych i zwierzęcych (poza odpadami kostnymi) zawierają znacznie mniej popiołu niż odpady pochodzenia przemysłowego typu PCV, guma, skóry w których pierwiastki chemiczne tworzą popiół, w znacznej mierze związany chemicznie z pierwiastkami tworzącymi substancję palną. Substancję mineralną w tej grupie odpadów tworzą głównie pierwiastki: Si, Al, Fe, Co, Ni, które znacznie podnoszą, do góry charakterystyczne temperatury popiołu, co przedstawia tabela nr.2.

Popiół pochodzący z odpadów roślinnych i zwierzęcych powstaje głównie z pierwiastków, grupy, (Ca, Mg, Na, K), które w istotny sposób obniżają charakterystyczne temperatury popiołu w trakcie termicznego nagrzewu. Obniżenie temperatur jest na tyle znaczne, że wymaga bardzo uważnego prowadzenia procesu w takim zakresie, aby nie przekroczyć temperatury w złożu spalającego się paliwa powyżej 1000°C, gdyż to powoduje oblepienie niespalonego paliwa przez roztopiony żużel i znaczny wzrost straty niecałkowitego spalania w żużlu.

Zawartość popiołu autochtonicznego w odpadach organicznych, waha się od 0,5 do 5%, a w odpadach przemysłowych, waha się od 10 do 20%. Wśród odpadów organicznych jedynie odpady kostne zawierają duże ilości popiołu na poziomie $A^r=25\div35\%$. Oprócz dużej ilości popiołu, odpady kostne charakteryzują się popiołem o bardzo niskiej temperaturze spiekania, mięknięcia i topnienia.

Oprócz różnic w zawartości składników balastowych (A^r , W^r) występują dość znaczne różnice w składzie elementarnym substancji organicznej. Zawartość pierwiastków C, H, O od których głównie zależy wartość ciepła spalania (Q_c) zmieniają się w dość szerokim zakresie, co powoduje znaczne fluktuacje w intensywności wydzielania się ciepła w poszczególnych fazach procesu spalania. Jest to przyczyną występowania znacznych spiężeń temperaturowych w fazie spalania gazów pirolitycznych prowadzących do przekroczenia dopuszczalnych temperatur mięknięcia i spiekania popiołu oraz zatapiania niespalonych części odpadów w aglomeratach substancji żużlowej.

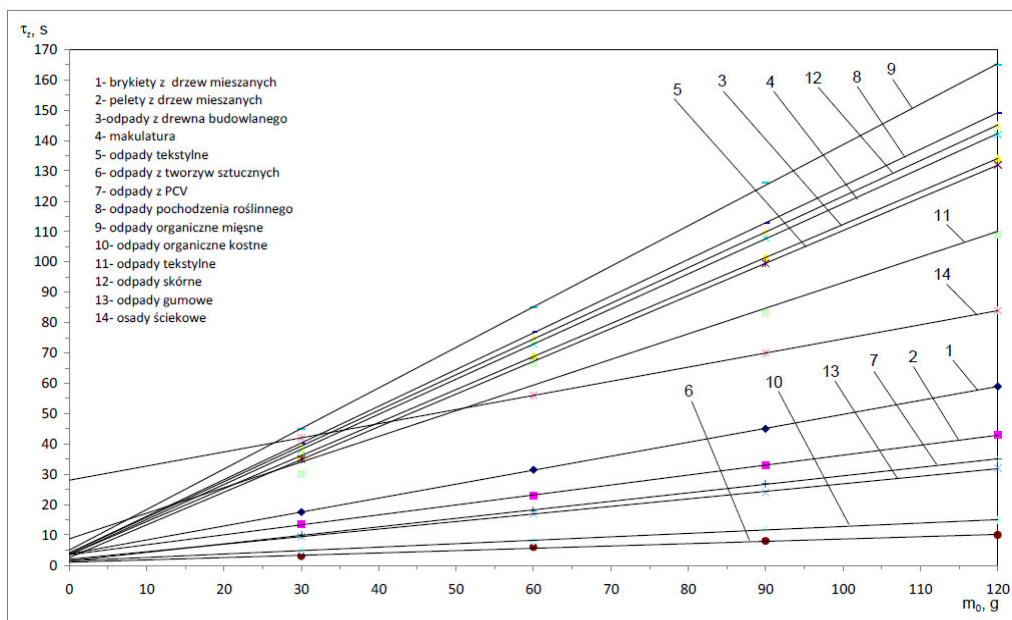
Poszczególne składniki morfologiczne odpadów komunalnych w bardzo istotny sposób różnią się między sobą zarówno składem chemicznym jak i fizyczną budową strukturalną. Różnice te są tak istotne z chemicznego

i fizycznego punktu widzenia że praktycznie nie można dokonać żadnych merytorycznych porównań i szukać wspólnej platformy odniesienia. Budowa fizykochemiczna poszczególnych gatunków morfologicznych odpadów nakazuje traktować je jako odrębne strukturalne substancje, które mają podlegać procesowi termicznego przekształcania.

4. Badania procesu spalania

Badania procesu spalania prób wyodrębnionych gatunków morfologicznych odpadów przeprowadzono w temperaturze 1000°C przy przepływie powietrza przez warstwę spalanej substancji. Badania przeprowadzono dla prób o różnej masie w równowagowych warunkach termodynamicznych. Aparatura i metodyka badań została przedstawiona we wcześniejszych pracach autorów [6-10].

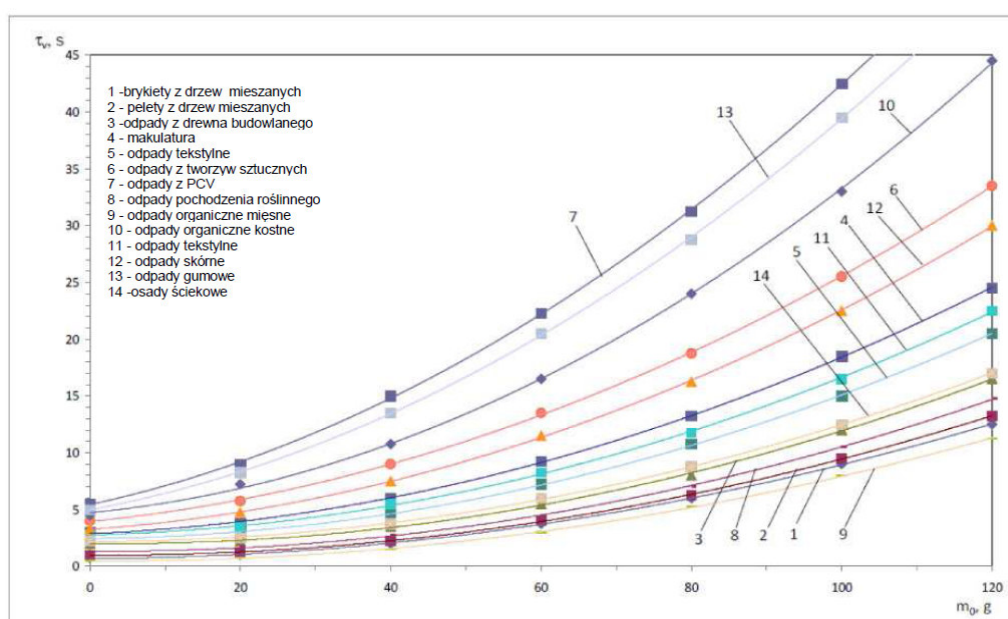
W trakcie badań określono czas odparowania wilgoci i czas nagrzania próbki do momentu w którym wydzielają się gazy pirolityczne w ilości niezbędnej do utworzenia mieszanki palnej zdolnej do zapłonu. Ten okres indukcji zapłonu gazów pirolitycznych oznaczony został przez czas zapłonu (τ_z). Zależność czasu zapłonu (τ_z) badanych gatunków morfologicznych w komorze spalania o temperaturze $t_p=1000^\circ\text{C}$ (temperaturę tę przyjęto jako średnią wartość występującą w warunkach termicznej utylizacji odpadów na ruszcie) w zależności od masy próbki, przedstawia wykres na rys.4.1.



Rys. 4.1. Czas zapłonu w zależności od masy próbki

Czas wydzielania i spalania gazów pirolitycznych (τ_v) przedstawiony jest na wykresie rys.4.2. Najkrótszy czas wydzielania i spalania gazów pirolitycznych charakterystyczny jest dla odpadów pochodzenia zwierzęcego. Gazy pirolityczne wydzielają się w sposób wybuchowy, powodując eksplozję substancji mięsnej. W podobny sposób przebiega proces współspalania i spalania gazów pirolitycznych z peletów i brykietów pochodzących z tkanki roślinnej. Wydzielające się gazy powodują wzrost ciśnienia wewnątrz peletu lub brykieta i ich rozpad na drobne elementy, które spalają się jako niezależne, niewielkie fragmenty.

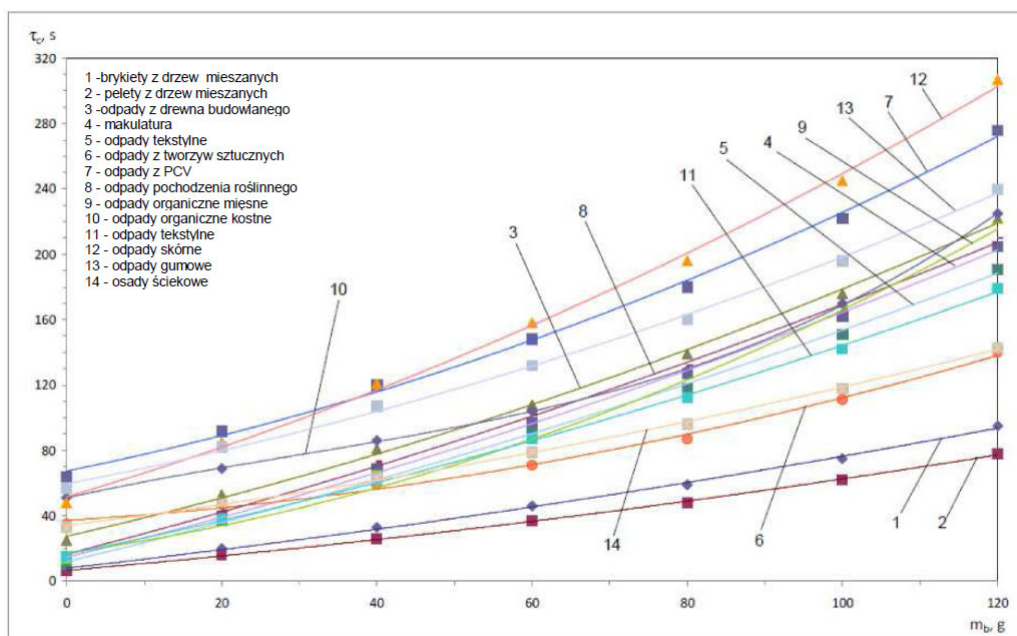
Proces wydzielania i spalania gazów pirolitycznych odpadów mięsnych-pozza kostnymi- peletów, brykietów pochodzenia roślinnego oraz odpadów pochodzenia roślinnego jest 3-4 krotnie krótszy od czasu spalania gazów pirolitycznych pochodzących z odpadów gumowych, PCV i odpadów kostnych. Niezależnie od gatunku morfologicznego odpadów, proces ich termicznego rozkładu jest gwałtowny i ma z reguły charakter wybuchowy-pozza odpadami gumowymi, PCV i osadami ściekowymi- połączony z eksplozyjnym mikrospalaniem. W zależności od zawartości wodoru w substancji organicznej w wytworzonym froncie spalania gazów pirolitycznych temperatura osiąga poziom 1500-1600°C.



Rys. 4.2. Czas wydzielania i spalania gazów pirolitycznych w zależności od masy próbki

W zależności od gatunku morfologicznego odpadów, w fazę gazową przechodzi od 50 do 95% substancji organicznej. Największy udział substancji gazowej występuje w przypadku utylizacji odpadów mięsnych. Procentowy udział gazów pirolitycznych w stosunku do masy substancji wyjściowej jest 6-razy większy od podobnego stosunku charakterystycznego dla PCV i odpadów gumowych.

Całkowity czas spalania (τ_c) substancji badanych odpadów w zależności od ich masy przedstawia wykres na rys. 4.3.



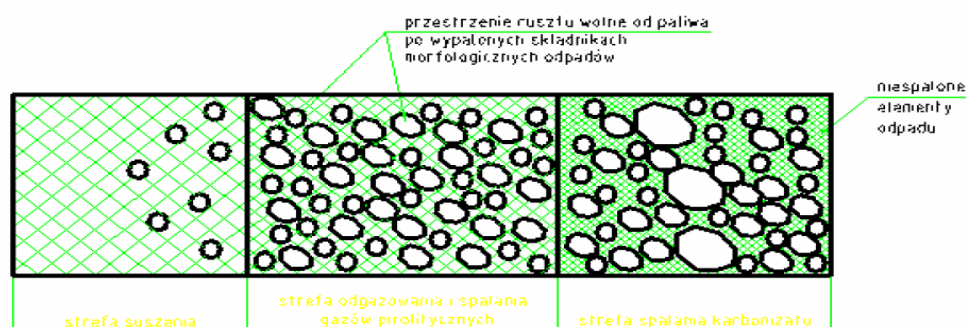
Rys. 4.3. Całkowity czas spalania w zależności od masy próbki

Najkrótszy całkowity czas wypalania substancji odpadów charakterystyczny jest dla peletów i brykietów pochodzących z substancji roślinnych.

Całkowity czas wypalania Formowanych Alternatywnych Paliw (FAPE) pochodzących z organicznych substancji roślinnych jest 4-5 krotnie krótszy od czasu spalania odpadów pochodzących ze skóry, PCV i gumy. Odpady pochodzące z tworzyw sztucznych i osady ściekowe spalają się około 1,5 raza dłużej od peletów i brykietów pochodzenia roślinnego.

Grupa odpadów pochodzących z makulatury, drewna budowlanego, odpadów tekstylnych, odpadów zwierzęcych spala się 2-krotnie wolniej od peletów i brykietów pochodzenia roślinnego lecz znacznie krócej od odpadów pochodzących ze skóry, PCV i gumy.

W zakresie określonego rozdrobnienia, różny czas wypalania (τ_c) identycznych masowo, lecz różniących się geometrycznie, różnych struktur morfologicznych odpadów powoduje dezorganizację procesu spalania się warstwy wsadu na ruszcie- niezależnie od jego typu. Jednorodna początkowa warstwa paliwa na ruszcie posiadająca jednakowy opór hydrauliczny dla przepływającego przez daną strefę powietrza, staje się z powodu różnych szybkości wypalania poszczególnych gatunków morfologicznych, warstwą „dziurawą” o strukturze „sera szwajcarskiego”. Wypalone substancje odpadów stanowią wolne przestrzenie w warstwie paliwa na ruszcie, przez które przepływa swobodnie powietrze przeznaczone do spalania. Następuje ucieczka powietrza, które nie bierze bezpośredniego udziału w utlenianiu pozostałych części niespalonego paliwa. Powietrze to bez specjalnych oporów hydraulicznych przepływa z nadmierną prędkością, powodując dodatkowe obniżenie temperatury nieprzereagowanych karbonizatów, powodując dalsze obniżenia szybkości spalania. Nierównomierna szybkość wypalania różnych gatunków morfologicznych powoduje dezorganizację struktury warstwy spalających się odpadów na ruszcie, co obrazuje rycina przedstawiona na rys.4.4



Rys. 4.4. Dezorganizacja struktury warstwy spalających się odpadów

W wyniku takiej dezorganizacji procesu spalania na ruszcie, znacznie rośnie strata kominowa, ponieważ rośnie ilość podawanego powietrza pod ruszt w celu dopalenia niespalonych części karbonizatu.

Część karbonizatu pochodząca z frakcji o najmniejszej reaktywności w ogóle nie zdąży się spalić na ruszcie, powodując stratę niecałkowitego spalania w żużlu. W tym przypadku strata niecałkowitego spalania pochodzi głównie z tych struktur morfologicznych odpadów, które charakteryzują się najniższą reaktywnością i najdłuższym czasem spalania.

W zależności od składu morfologicznego strata ta może być na tyle znaczna że obniży sprawność termiczną układu kotłowego o kilka procent. Strata ta stwarza kłopot w postaci żużlu, który staje się odpadem koniecznym do składowania lub do dalszej utylizacji, ponieważ będzie zawierał powyżej 5% części palnych.

5. Charakterystyki fizyczne popiołu pochodzące z różnych rodzajów morfologicznych odpadów

Zachowanie się substancji popiołu podczas procesu spalania (jakiegokolwiek gatunku paliwa stałego) określają charakterystyczne temperatury jakie przechodzi popiół w trakcie procesu spalania.

Niezależnie od metody wyznaczenia charakterystycznych temperatur oznaczenie sprowadza się do określenia:

- temperatury spiekania (t_s),
- temperatury mięknięcia (t_m),
- temperatury topnienia (t_t),

-temperatura płynięcia (t_p)

Charakterystyczne temperatury popiołu badanych struktur morfologicznych odpadów przedstawione zostały w tabeli nr 5.1. Temperatury zostały wyznaczone metodą Bunte-Bauna [11].

Tabela 5.1. Fizyczne temperatury popiołu

Lp.	Rodzaj substancji	Temperatura spiekania t_s °C	Temperatura mięknięcia t_m °C	Temperatura topnienia t_t °C	Temperatura płynięcia t_p °C
1.	Pelety, brykiety, kęsy z pospółki drzew liściastych i iglastych	1175	1970	1305	1348
2.	Drewno odpadowe użytkowe- meblowe, stolarskie	1148	1169	1205	1264
3.	Odpady z drewna budowlanego	1145	1188	1224	1296
4.	Odpady papierowe	994	1083	1207	1294
5.	Odpady kartonowe	1016	1095	1232	1325
6.	Odpady z tworzyw sztucznych	1285	1354	1468	1535
7.	Odpady z PCV	1296	1368	1474	1512
8.	Odpady organiczne pochodzenia roślinnego	708	785	824	917
9.	Odpady organiczne mięsne	887	924	995	1064
10.	Odpady organiczne kostne	942	985	1073	1168
11.	Odpady tekstylne	1085	1169	1254	1315
12.	Odpady skórzane	1012	1094	1216	1384
13.	Odpady gumowe	1246	1318	1495	1524
14.	Osad ściekowy	1195	1268	1384	1492

Charakterystyczne temperatury popiołu są ściśle uzależnione od składu chemicznego substancji mineralnej spalanych struktur morfologicznych odpadów. Temperatury popiołu ulegają szczególnemu obniżeniu wówczas, gdy w substancji mineralnej występują duże ilości Na i K. Ponieważ odpady pochodzenia roślinnego i zwierzęcego zawierają największą ilość Na i K, dlatego charakterystyczne temperatury ich popiołów są niskie. Temperatura mięknięcia odpadów pochodzenia roślinnego wynosi około 710°C, odpadów mięsnych- 890°C, a odpadów kostnych- 950°C.

Najwyższe temperatury mięknięcia charakterystyczne są dla odpadów pochodzących z tworzyw sztucznych, PCV i gumy. Temperatura mięknięcia popiołu pochodzącego z tworzyw sztucznych wynosi około 1300°C. Popiół pochodzący z drewna, makulatury, tekstyliów i skór posiada temperaturę mięknięcia w przedziale 1000÷1200°C.

Istotne znaczenie mają również temperatury topnienia i płynięcia popiołu odpadów roślinnych i zwierzęcych których wartości zawierają się w przedziale 900-1150°C. Niskie wartości tych temperatur szczególnie w przypadku odpadów kostnych powodują istotną dezorganizację procesu spalania odpadów o niskiej reaktywności.

Powstaje bowiem sytuacja gdy płynna substancja popiołu pochodzącego ze spalania odpadów kostnych zatapia niespalony karbonizat pochodzący np. z odpadów gumowych czy tekstylnych. Oblepione płynnym popiołem

ziarna karbonizatów są zatopione wewnątrz powłoki żuźlowej. Proces spalania zostaje przerwany, a wewnątrz powstaje niedopał w postaci niespalonego karbonizatu, co bardzo dokładnie obrazują zdjęcia fragmentu żuźła pobranego z pod rusztu kotła rusztowego spalarni odpadów w Warszawie.

Przedstawiona na rys. 5.2. dokumentacja zdjęciowa jest charakterystycznym przypadkiem spalania odpadów komunalnych, składających się z różnych gatunków morfologicznych, różniących się zarówno substancją organiczną jak i substancją mineralną. Różnice pomiędzy poszczególnymi strukturami morfologicznymi występują praktycznie we wszystkich charakterystykach mających wpływ na proces spalania. Różnice te, co pokazały zamieszczone wyniki badań są na tyle znaczne, że powodują trudne do przewidzenia skutki, wzajemnie nakładających się lub znoszących się efektów fizykochemicznych.

Różnorodność przebiegających zjawisk podczas spalania poszczególnych struktur morfologicznych oraz ich przesunięcia czasowe powodują nakładanie się niekorzystnych zjawisk, które prowadzą do powstania straty niecałkowitego spalania w żuźlu oraz wzrostu straty kominowej spowodowanej niekontrolowanym przepływem „fałszywego” powietrza przez te fragmenty rusztu w których nastąpiło wcześniejsze wypalenie najbardziej reakcyjnych odmian morfologicznych odpadów.



Rys. 5.2. Niedopał powstały w żuźlu

6. Propozycja technologii ekologicznego spalania odpadów komunalnych.

Opierając się na wynikach elementarnych oznaczeń fizykochemicznych głównych odmian morfologicznych odpadów oraz własności kinetycznych i fizycznych produktów ich termicznej przemiany proponuje się zastosowanie nowatorskiej instalacji termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych metodą typu „K”, w której biodegradowalna część odpadów komunalnych, poddana zostanie energetycznemu recyklingowi w elektrociepłowni pracującej w układzie kogeneracji parowej lub w układzie hybrydowym parowo-olejowym z generatorem ORC, pracującym w skojarzeniu. Technologia jest chroniona patentami i zgłoszeniami patentowymi autorów [12-16].

Elektrociepłownia opalana formowanymi alternatywnymi paliwami (FAPE), zgodnie z technologią typu „K”, charakteryzuje się bardzo wysoką niezawodnością eksploatacyjną, optymalną, wysoką sprawnością termicznego przekształcania energii chemicznej paliwa w użytkową energię elektryczną, ciepłą i chłód oraz niską emisją substancji szkodliwych do otoczenia jak również brakiem selektywności spalanej biomasy i odpadów.

Ograniczenie emisji substancji szkodliwych do otoczenia zarówno po stronie gazowej jak i stałej i ciekłej metodami „pierwotnymi” w procesie spalania, stawia technologię typu „K” w gronie najbardziej nowatorskich

i optymalnych pod względem sprawności termicznej i ekologicznej technologii termicznego recyklingu biomasy i odpadów w skali światowej.

Proponowana instalacja do termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych metodą typu „K” została opracowana na podstawie wcześniejszych, wieloletnich doświadczeń zdobytych przy realizacji takich inwestycji jak:

- Instalacja do utylizacji mięsno-kostnej w STRUGA S.A. w Jezuickiej Strudze o mocy cieplnej 7MW,
- Instalacja do utylizacji odpadów mięsnych, komunalnych, osadów ściekowych oraz biomasy rolniczej i leśnej w P.P. „POLUTIL” w Ostrowitem o mocy cieplnej 12MW,
- Instalacja do utylizacji mączki mięsno-kostnej i odpadów zwierzęcych w STRUGA S.A. w Jezuickiej Strudze o mocy elektrycznej 4,2MW oraz mocy cieplnej 13MW,
- Instalacja do utylizacji tłuszczu zwierzęcego w Z.M. VIANDO w Radojewicach o mocy cieplnej 2MW,
- Instalacja do spalania biomasy pochodzenia leśnego i rolniczego oraz osadów pościekowych w przedpalenisku kotła OP-150 o mocy 40MW w Elektrowni Stałowa Wola.

Instalacja termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych metodą „K” umożliwia spalanie:

- biodegradowalnych odpadów komunalnych,
- osadów ściekowych,
- mięsnych i kostnych odpadów zwierzęcych i rybnych,
- mączki mięsno-kostnej,
- wszelkiego rodzaju produktów i odpadów bio-agro,
- biomasy pochodzenia leśnego i rolniczego,
- odpadów poszpitalnych.

Cechą charakterystyczną instalacji typu „K” jest możliwość stosowania jako wsadu substancji o dużej wilgotności (powyżej 50%) oraz dużej zawartości popiołu, która może mieć konsystencję zarówno ciała stałego, jak również substancji mazistej, mułu czy też pulpy.

Możliwość taką zapewnia zastosowanie w procesie termicznego przekształcania etapu suszenia i odgazowania wsadu biodegradowalnego. Wymaga to oczywiście dostarczenia pewnej ilości energii cieplnej z zastosowaniem palnika olejowego lub gazowego, ale z uwagi na ciągłość procesu termicznego przekształcania, wprowadzona dodatkowo energia jest w całości wykorzystana w drugim etapie termicznej przeróbki, tj. procesie spalania gazów pirolitycznych oraz spalania karbonizatu.

Instalacja typu „K” zapewnia odbiór energii cieplnej w drugim etapie termicznego przekształcania poprzez powierzchnie ogrzewalne kotła, a tym samym produkcję energii cieplnej, jak również energii elektrycznej w wysokosprawnej kogeneracji poprzez zastosowanie turbozespołu z turbiną przeciwpięzną lub kondensacyjno-upustową. W celu zwiększenia sprawności całkowitej instalacji możliwe jest zastosowanie dodatkowo, oprócz turbozespołu parowego, układu z turbogeneratorem ORC, poprzez włączenie obiegu oleju termalnego w niskotemperaturowy strumień spalin ($600^{\circ}\text{C} \div 700^{\circ}\text{C}$).

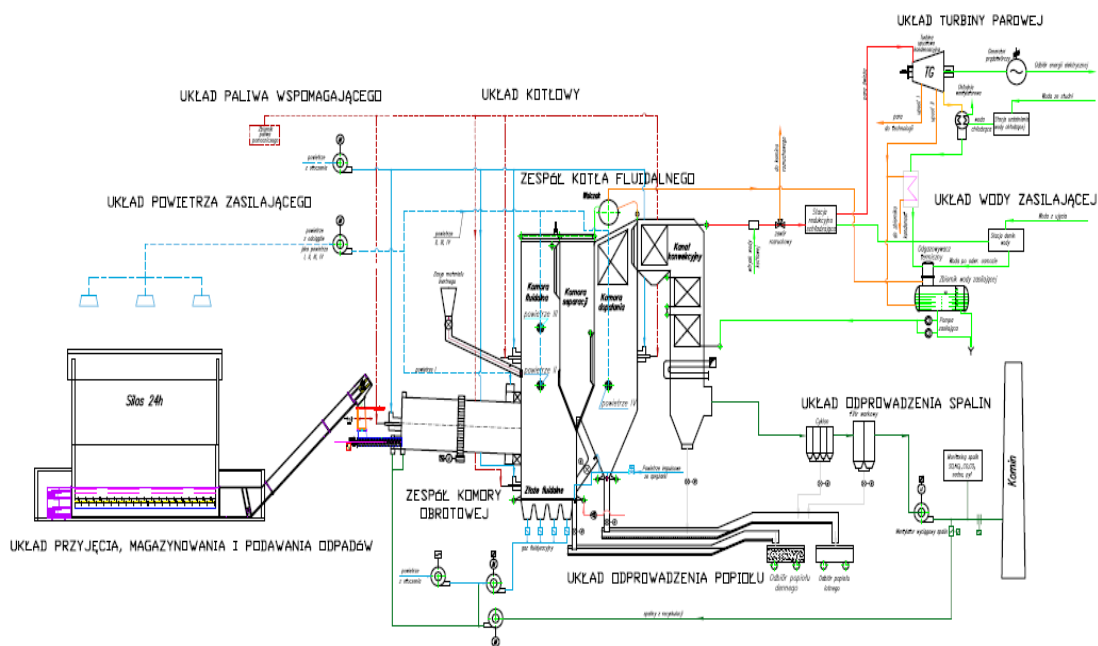
Technologia typu „K” pozwala metodami „pierwotnymi” w trakcie procesu odgazowania i spalania w komorze kotła ograniczyć w spalinach zawartość tlenków siarki (SO_x), tlenku węgla (CO), wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i sadzy (C_{org}) oraz całkowicie wyeliminować powstawanie dioksyn i furanów oraz wszelkiego fetoru.

Technologia spalania utylizowanych substancji umożliwia ścisłą kontrolę nad ilością powstających tlenków azotu (NO_x), chlorowodoru (HCl), lotnego koksiku (C_{org}) i lotnego popiołu (A_c).

Układ technologiczny powierzchni ogrzewalnych kotła zapewnia wychwycenie w komorze kotła par metali ciężkich i metali alkalicznych, przez co w istotny sposób obniża się szlakowanie, zanieczyszczenie i korozja powierzchni ogrzewalnych kotła. Dzięki temu zwiększa się żywotność części metalowych kotła, zmniejszają się koszty eksploatacyjne czyszczenia powierzchni ogrzewalnych oraz zmniejsza się zawartość popiołu i części palnych w spalinach opuszczających układ kotłowy. Zawartość części palnych w żużlu i w lotnym popiele jest mniejsza od 1%, co powoduje, że żużel i popiół nie jest odpadem lecz pełnowartościowym surowcem budowlanym, a w szczególnych przypadkach może być znakomitą surowcem do produkcji sztucznych nawozów wapniowo-magnezowych, potasowych i fosforowych.

Stosując termiczne przekształcanie odpadów w układzie energetycznego przekształcania odpadów metodą „K”, można jednocześnie redukować ilość składowanych odpadów ulegających biodegradacji (Dyrektywa 1999/31/WE) oraz pozyskiwać użyteczne formy energii cieplnej, chłodu i energii elektrycznej z OZE (Dyrektywa 2001/77/WE) w sposób kontrolowany i bezpieczny dla środowiska naturalnego, co jest szczególnie ważne w aspekcie przyjętych zobowiązań Polski wynikających z Traktatu Akcesyjnego.

Schemat technologiczny instalacji do termicznej utylizacji odpadów przedstawiony jest na rys.6.1.



Rys.6.1. Schemat konwencjonalnej instalacji do termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych w kogeneracji metodą „K”

Zasadniczym elementem proponowanej instalacji do termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych metodą „K” jest układ kotłowy, w którym następują w sposób ciągły, proces suszenia i odgazowywania odpadów, a następnie proces spalania powstałego gazu pirolitycznego oraz karbonizatu, zapewniając tym samym maksymalne wykorzystanie energii chemicznej zawartej w dostarczonym paliwie.

W obrotowej komorze suszenia i zgazowania realizowany jest proces suszenia, gazyfikacji oraz częściowej neutralizacji siarki i chloru przy pomocy rozdrobnionego węgla wapnia. Proces w zależności od stopnia zawilgocenia i zawartości popiołu w przekształcanych odpadach po termicznym zainicjowaniu przebiega autotermicznie w atmosferze redukcyjnej, lub jest podtrzymywany przez wysokoenergetyczne źródło energii cieplnej. Produkty gazyfikacji z komory obrotowej przepływają do komory fluidalnej, gdzie mieszają się z powietrzem „pierwotnym”.

Proces spalania gazów pirolitycznych w komorze spalania jest rozciągnięty na całą wysokość komory fluidalnej poprzez rozdzielanie powietrza niezbędnego do spalania na powietrze „wtórne” i powietrze „trzecie”. Dzięki temu rozdzielaniu powietrza, możliwe stało się ograniczenie temperatury w jądrze płomienia spalających się gazów pirolitycznych do poziomu 1200÷1300°C. Ograniczenie temperaturowe i ograniczenie koncentracji powietrza (cząstek N_2 i O_2) w strefie spalania, pozwala utrzymać proces tworzenia się termicznych NO_x na możliwie niskim poziomie. Do spalania gazów pirolitycznych wykorzystywane jest zanieczyszczone powietrze, pobierane z odciągów wentylacyjnych układu rozładunku, przygotowania i podawania wsadu do komory obrotowej, dzięki czemu następuje likwidacja wszelkiego rodzaju przykrych zapachów.

Powstały w komorze obrotowej karbonizat i popiół zsypaną się do dolnej części komory fluidalnej, gdzie łącznie z doprowadzonym z zewnątrz materiałem inertnym (np. piasek kwarcowy), tworzą złożo fluidalne, którego

fluidyzacja następuje w wyniku przepływu gazu fluidyzacyjnego, składającego się ze spalin z recykulacji oraz powietrza. Dla uzyskania prawidłowych parametrów pracy złoża fluidalnego w fazie rozruchu kotła uruchamiane są dodatkowo rozruchowe palniki olejowe lub gazowe. W złożu fluidalnym proces spalania karbonizatu przebiega w temperaturach niższych od temperatury mięknięcia popiołu, tj. $750 \div 900^{\circ}\text{C}$. W procesie spalania karbonizatu następuje prawie całkowita neutralizacja siarki, chloru oraz niektórych metali ciężkich do związków obojętnych chemicznie, usuwanych z popiołem. Zawartość części palnych w usuwanym popiele dennym jest mniejsza od 1%. Popiół stanowi pełnowartościowy surowiec budowlany, a w szczególnych przypadkach może stanowić doskonały surowiec do produkcji nawozów sztucznych.

7. Wnioski

- 1) Odmiany morfologiczne odpadów komunalnych znacznie różnią się między sobą zarówno własnościami fizykochemicznymi, jak i kinetycznymi.
- 2) Różnice we własnościach kinetycznych poszczególnych odmian morfologicznych odpadów uniemożliwiają ich spalanie jako mieszaniny paliwowej w kotłach rusztowych.
- 3) Skład chemiczny substancji mineralnej różnych odmian morfologicznych jest na tyle odmienny, że utrudnia spalanie mieszaniny odpadów w kotle rusztowym z uwagi na temperatury spiekania popiołów przynależnych do różnych odmian morfologicznych.
- 4) Spalanie odpadów komunalnych w kotle rusztowym powoduje znaczny wzrost straty kominowej (S_k) i straty niecałkowitego spalania w żużlu (S_{nz}), powodujących obniżenie sprawności termicznej kotła nawet o kilka procent.
- 5) Znaczna zawartość części palnych w żużlu spowodowana jest zatopieniem koksiku w płynnym żużlu. Powoduje to powstanie żużlu o zawartości części palnych powyżej 5%, który staje się odpadem przeznaczonym do składowania lub do dalszej utylizacji.
- 6) Proces termicznej utylizacji odpadów komunalnych aby był wysokosprawny termicznie i bezpieczny ekologicznie musi przebiegać w warunkach rozdziału w czasie i przestrzeni procesów termicznego rozkładu odpadów oraz spalania gazów pirolitycznych i karbonizatu.
- 7) Termiczna utylizacja odpadów przy pomocy instalacji, w której realizowana jest technologia termicznej przemiany metodą „K” jest technologią, w której w najbardziej efektywny sposób, z najwyższą sprawnością termiczną przebiega proces przemiany substancji organicznej przy minimalnych wielkościach emisji substancji szkodliwych do otoczenia.

LITERATURA

1. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 21 marca 2002r. W sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów (Dz.U. nr 37 z 2002 r., poz. 339 + zmiana Dz. U. Nr 1 z 2004r. poz.2)
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia grudnia 2005 w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. Nr 260 z 2005r., poz. 2181)
3. Przywarska B.: Odpady komunalne źródłem energii odnawialnej. Recykling 2009 nr 7-8 (103-104)
4. Pająk T.: Spalanie odpadów komunalnych- potrzeby, realia, perspektywy budowy. Termiczne unieszkodliwianie odpadów. Restrukturyzacja procesów termicznych. Praca zbiorowa pod redakcją J.W. Wandrasza. Wyd. Futura Poznań 2007.
5. Ściążko M., Zawada J., Pronobis M.: Zalety i wady współspalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współspalania biomasy na skalę przemysłową. Energetyka i ekologia 2006 Nr 43.
6. Karcz H., Głąbik R., Kosiorek-Herbuś A., Kurzelewski J., Kozakiewicz A., Rzepa K.: Możliwości spalania biomasy w kotłach energetycznych. Konferencja naukowo-techniczna pt: „Nowoczesne technologie spalania węgla i paliw odpadowych”. Materiały konferencyjne s. 79-92. Szczyrk 15-17 listopada 2006.
7. Karcz H., Wierzbicki K., Szczepaniak St.: Elektrociepłownia opalana biomasą pochodzącą z odpadów biodegradowalnych. Wyg. VII Konferencja „Dla Miasta i Środowiska. Problemy Unieszkodliwiania

- Odpadów” Warszawa 30 listopad 2009. Pol. Warszawska Wydz. Inżynierii Chemicznej i procesowej. Materiały konferencyjne s. 65-72.
8. Karcz H., Kantorek M., Kozakiewicz A., Grabowicz M., Komorowski W., Szczepaniak St.: Elektrociepłownia opalana biomasą pochodzącą z odpadów. Archiwum spalania Vol. 9 (2009) Nr 1-2 s. 39-73.
 9. Karcz H., Kantorek M., Kozakiewicz A., Jesionek K., Komorowski W., Grabowicz M.: Możliwości technologiczne energetycznego wykorzystania mączki mięsno-kostnej. Archiwum spalania Vol. 9 (2009) Nr 1-2 s.135-149.
 10. Karcz H., Kantorek M., Folga K., Szczepaniak St.: Możliwości spalania w kotłach energetycznych biomasy pochodzącej z odpadów. Nowa Energia 2009, Nr 6, s. 60-70.
 11. Kruczek St.: Kotły. Oficyna wydawnicza Polit. Wrocław, Wrocław 2001.
-