

Henryk Karcz,¹⁾

Politechnika Wroclawska, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów

Andrzej Kozakiewicz

TKW Combustion

Sposób termicznej utylizacji odpadów zwierzęcych

Termiczna utylizacja odpadów organicznych polega na tym, że odpady organiczne, zwłaszcza mączki mięsno-kostne, tłuszcze odpadowe i inne przetworzone odpady pochodzenia zwierzęcego wprowadza się do komory obrotowej pieca zespolonego i w czasie obrotów tej komory odpady rozdrabnia się, nagrzewa, suszy i poddaje pirolizie poprzez obróbkę termiczną, przy spalaniu paliwa ciekłego w temperaturze powyżej 1000° w strefie początkowej i w pobliżu ścian komory obrotowej. W termicznej obróbce stosuje się paliwo ciekłe, tłuszcz zwierzęcy, który przed spalaniem podgrzewa się do temperatury powyżej 80°C i rozpyla się za pomocą pary wodnej lub w przypadku jej braku sprężonym powietrzem. Ze spalania tłuszczu zwierzęcego i pirolizy odpadów wytwarzający się gaz pirolityczny po zmieszaniu z powietrzem wtórnym jako palna mieszanka gazowa spala się w komorze wylotowej, natomiast wytwarzający się karbonizat pod wpływem sił ciężkości i obrotów komory obrotowej zsypuje się do paleniska fluidalnego, gdzie ulega całkowitemu spalaniu.

Do spalania każdego rodzaju paliwa (stałego, ciekłego i gazowego) potrzebny jest inny rodzaj paleniska i palnika. Paliwa odpadowe w zależności od wielkości gabarytów, w jakich się znajdują, w zależności od wilgoci i wartości opałowej mogą być spalane na ruszcie poziomym, pochyłym lub schodkowym niekiedy chłodzonym wodą, a także w palniku pyłowym. Również sposób dozowania paliwa do komory spalania zależy od wymiarów geometrycznych paliwa.

W przypadku ziaren o małych rozmiarach i trocin stosuje się dozowniki komórkowe i ślimakowe oraz transport pneumatyczny. W starszych typach palenisk stosowane jest dozowanie grawitacyjne z leja zsykowego na ruszt mechaniczny.

Stale paliwa odpadowe w postaci ziarnistej spalane są w kotłach rusztowych i kotłach komorowych przy pomocy palników strumieniowych lub mieszanych, zainstalowanych na ścianie komory paleniska kotła. W kotłach rusztowych palniki mogą pracować samodzielnie bez wspomagania spalaniem na ruszcie innego paliwa, np. węgla kamiennego.

Istnieją również palniki pyłowe wirowe i strumieniowe, w których spala się paliwo odpadowe w postaci pyłu, ale spalanie to jest stabilizowane (wspomagane) przez spalanie węgla kamiennego na ruszcie.

Palniki do spalania ziarnistego paliwa odpadowego mogą być zainstalowane również w technologicznych piecach muflowych i piecach obrotowych, gdzie spalanie paliwa odpadowego jest stabilizowane spalaniem podstawowego paliwa gazowego lub ciekłego. W zależności od mocy palnika na paliwo odpadowe w stosunku do mocy całkowitej uzyskanej w komorze spalania, w celu uzyskania niskiej emisji tlenków azotu, stosuje się spalanie ziarnistego paliwa odpadowego płomieniem przylegającym do płomienia paliwa zasadniczego lub płomieniem, który tworzy się dopiero w środku komory spalania, a po drodze ziarna paliwa odpadowego ulegają zgazowaniu, co powoduje redukcję tlenków azotu. Wprowadzenie jednak ziarnistego paliwa odpadowego nad warstwę spalającego się węgla na ruszcie nie zapewnia wymaganych warunków do utylizacji paliwa odpadowego.

Temperatury panujące nad rusztem są zbyt niskie i nie są wyrównane w całym przekroju poziomym komory kotła. Najdrobniejsze frakcje rozdrobnionego materiału odpadowego są wynoszone z komory kotła do powierzchni ogrzewalnych i do lejów zsykowych. W lotnym popiele i żużlu znajduje się duża ilość nie spalonego paliwa odpadowego.

Gdy strumień spalanych odpadów jest stosunkowo nieduży, a uziarnienie jest tego samego rzędu, wtedy stosuje się zgazowanie odpadów w pierwszej części komory spalania, a uzyskany gaz dopala się w drugiej części komory spalania. Istnieje także możliwość gazyfikacji pyłu w retorcie stacjonarnej i dopalanie w komorze spalania kotła. Niekiedy pył odpadowy może być zgazowany w retorcie fluidalnej, a otrzymany gaz spalany w palniku gazowym umieszczonym w komorze kotła. Instalacje te są jednak kłopotliwe ze względu na wysoką emisję NO_x i pyłów, które wymagają stosowania specjalnych układów odpylających i precyzyjnego ograniczenia powietrza podawanego do palnika.

Sposób termicznej utylizacji odpadów organicznych, zwłaszcza mączki mięsno-kostnej, tłuszczy odpadowych i innych przetworzonych odpadów pochodzenia zwierzęcego, charakteryzuje się tym, że odpady organiczne wprowadza się do komory obrotowej pieca i w czasie obrotów tej komory odpady rozdrabnia się, nagrzewa, suszy i poddaje pirolizie poprzez obróbkę termiczną w temperaturze powyżej 1000°C, w strefie początkowej komory obrotowej. Do termicznej obróbki odpadów stosuje się zwykle paliwo ciekłe lub gazowe.

¹⁾ Dr inż. Henryk Karcz jest pracownikiem naukowym w Instytucie Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej a także prezesem spółki TKW Combustion z siedzibą w Głownie. Jest autorem 280 publikacji naukowych na temat spalania i 48 patentów i zastrzeżeń patentowych a w 2002 r. otrzymał z rąk Prezesa Rady Ministrów nagrodę za wybitne krajowe osiągnięcia naukowo-techniczne. Wolny czas poświęca pszczelarstwu, sadownictwu interesuje się także ornitologią i jest wielkim miłośnikiem przyrody.

Mgr inż. Andrzej Kozakiewicz jest projektantem w TKW Combustion z siedzibą w Głownie.

Wytwarza się gaz pirolityczny, który po zmieszaniu z powietrzem wtórnym jako mieszanka gazowa spala się w komorze pieca obrotowego.

Odpady organiczne, zwłaszcza mączki mięsno-kostne, tłuszcze odpadowe i inne przetworzone odpady pochodzenia zwierzęcego jak dotychczas są spalane z dużym powodzeniem w cementowniczych piecach obrotowych w procesie wypalania klinkieru, paliwem szlachetnym ewentualnie mieszanką zawierającą paliwa szlachetne i alternatywne. Odpady te są dodawane do pieca cementowniczego przez główny palnik do płomienia z temperaturami od 1900°C do 2000°C lub do gorącej części pieca obrotowego z temperaturami od 1400°C do 1900°C. Przy tym sposobie część wartości energetycznej paliwa dotychczas stosowanego zastępuje się mączką mięsno-kostną, tłuszczem odpadowym lub innymi odpadami pochodzenia zwierzęcego, które przy wysokich temperaturach i utleniającej atmosferze piecowej z nadmiarem powietrza zostają spalane z wykorzystaniem ich wartości opałowej. Nietoksyczne spaliny po rozkładzie termicznym częściowo zostają wychwycone przy wypalaniu przeciwnym przez zmieloną mieszankę surowców i tworzący się klinkier, a popiół powstały z minerałów kostnych po spalaniu przereagowuje do masy klinkieru z mineralizującym działaniem tlenku fosforu P_2O_5 na tworzenie faz klinkierowych.

Metoda ta, mimo że jest bardzo skuteczna pod względem pewności utylizacji materiałów zwierzęcych o najwyższym stopniu zagrożenia oraz przynosi bardzo wymierne korzyści ekonomiczne przy procesie wypalania klinkieru, stwarza duże utrudnienie dla zakładów zbywających wymienione odpady. Przede wszystkim ze względu na dowóz materiałów na znaczne odległości, co związane jest ze specyfiką rozmieszczeń Zakładów Cementowniczych. Dla zbywających odpady system ten stanowi znaczne obciążenie finansowe i organizacyjne.

Instalacja do termicznej utylizacji odpadów zwierzęcych

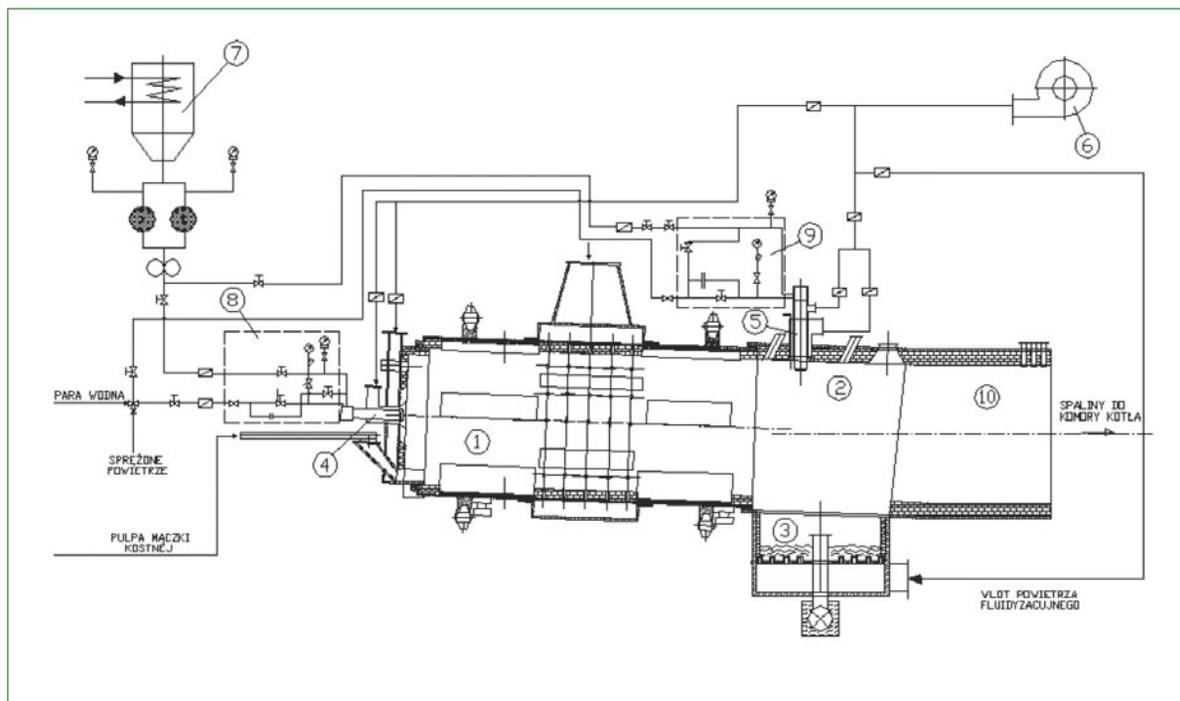
Układ do spalania odpadów organicznych zwłaszcza mączki mięsno-kostnej, tłuszczów odpadowych, składa się z:

- bunkra załadowczego, do którego odpad doprowadzony jest za pomocą transportu pneumatycznego lub dowożony pojemnikami,
- podajnika ślimakowego, podającego pulpę do pieca,
- pieca obrotowego, gdzie następuje suszenie, zgazowanie i częściowe spalanie materiału,
- komory wylotowej, w której następuje spalanie gazów pirolitycznych wytworzonych w procesie zgazowania,
- paleniska fluidalnego, w którym ulega spaleniowi karbonizat – pozostałość po odgazowaniu,
- kotła parowego, spełniającego funkcję kotła odzysknicowego.

Schemat instalacji przedstawiono na rysunku 1. Układ technologiczny i instalacja do spalania odpadów zwierzęcych są chronione patentami i zgłoszeniami patentowymi [1–8], których właścicielem jest *TKW Combustion Główno*.

Opis budowy

Komora pieca obrotowego wykonana jest z płaszcza zewnętrznego w postaci rury stalowej o średnicy ok. 1,5 m, długości 8,0 m z wewnętrzną wymurówką wykonaną z ceramicznego materiału ognioodpornego. Wewnątrz komory umocowane są półki przesypowe, wykonane z profilowanych blach żaroodpornych. Komora obraca się za pomocą układu napędowego składającego się wieńców napędowych i odpowiednio wyprofilowanych bieżni przyspawanych do płaszcza w początkowej i końcowej części obrotowej komory. Z uwagi na pochylenie komory w kierunku



Rys.1. Schemat komory spalania

wylotowym pod kątem od 1° do 2° w stosunku do poziomu, zabezpieczeniem przed przesunięciem są rolki oporowe umieszczone pod tylnym wieńcem napędowym. W środkowej części obrotowa komora posiada kilka rzędów otworów, wykonanych w płaszczu i wymurówce. Od zewnątrz otwory osłonięte są cylindrycznym płaszczem z wlotem dla powietrza. Połączenie płaszczu cylindrycznego z obrotową komorą uszczelnione jest sznurem grafitowym. Obrotowa komora od przodu zamknięta jest gardzielą czołową poprzez uszczelnienia podobnego typu. Gardziel czołowa wykonana jest z płyty z wymurówką ognioodporną. Płyta czołowa w dolnej swojej części posiada otwór, do którego podajnikiem ślimakowym doprowadzana jest pulpa tkanki zwierzęcej lub inne odpady zwierzęce.

W osi gardzieli czołowej umieszczony jest palnik olejowy lub gazowy. Palnik umieszczony jest w kanale powietrza. W płycie czołowej płaszczu powietrza umieszczona jest również zapalarka, czujnik kontroli płomienia oraz wziernik służący do obserwacji płomienia. Kanał powietrza zasilany jest przez wentylator, kłapę regulacyjną i kłapę odcinającą. Za kłapę odcinającą zamontowany jest manometr kontrolny z zaworem odcinającym.

Komora wylotowa zamyka w części końcowej komorę pieca obrotowego i połączona jest z czopuchem spalin odprowadzającym spaliny do płomienicy kotła odzysknicowego. W dolnej części komora wylotowa połączona jest z paleniskiem fluidalnym dla dopalenia stałej pozostałości po odgazowaniu i częściowym wypaleniu w komorze obrotowej. Komora wylotowa wykonana jest z metalowego płaszczu zewnętrznego i z ceramicznej wymurówki wewnętrznej. W górnej części komory umieszczony jest palnik stabilizujący, zasilany paliwem ciekłym lub gazowym. Palnik umieszczony jest w kanale powietrza. Wyposażenie palnika jest identyczne jak w przypadku palnika umieszczonego w gardzieli czołowej.

Komora wylotowa dolną częścią łączy się z fluidalną komorą spalania, która wykonana jest ze stalowego płaszczu zewnętrznego z wewnętrzną wymurówką. Komora zamknięta jest od spodu dnem sitowym. Powietrze fluidyzacyjne doprowadzane jest do skrzyni umieszczonej pod dnem sitowym. Króciec zasilający skrzynię zasilany jest przez wentylator, kanał powietrza i kłapę regulacyjną. Ze złoża fluidalnego popiół odprowadzany jest rurą zsygową zamkniętą od spodu służącą i połączoną z podajnikiem odprowadzającym popiół.

Czopuch odprowadzający spaliny wykonany jest ze stalowego płaszczu i żaroodpornej wymurówki. W czopuchu na wlocie do płomienicy kotła odzysknicowego umieszczone są króćce do pomiaru temperatury spalin, do poboru próbek gazu do analizy chemicznej oraz do pomiaru ciśnienia w czopuchu.

Sposób termicznej utylizacji odpadów zwierzęcych

Sposób termicznej utylizacji odpadów organicznych, w tym mączki mięsno-kostnej, polega na tym, że odpady organiczne wprowadza się do komory obrotowej 1 pieca zespolonego i w czasie obrotów tej komory odpady rozdrabnia się, nagrzewa, suszy i poddaje pirolizie. Termiczna obróbka wsadu następuje przy pomocy palnika głównego 4 zasilanego ze zbiornika 7 poprzez węzeł armatury przypalnikowej 8 paliwem stabilizującym

(ciekłym lub gazowym) oraz zasilanego powietrzem pierwotnym i wtórnym z wentylatora 6. Proces spalania paliwa stabilizującego jest tak prowadzony, aby temperatura w początkowej strefie komory w pobliżu ścian była wyższa od 850°C, a korzystniej była wyższa od 1000°C. Przy termicznej obróbce odpadów korzystnie jest stosować jako paliwo stabilizujące tłuszcz zwierzęcy, który przed spalaniem podgrzewa się do temperatury powyżej 80°C i rozpyla się przy pomocy pary wodnej lub, w przypadku jej braku, sprężonego powietrza. Ze spalania paliwa stabilizującego i pirolizy odpadów, wytwarzający się gaz pirolityczny po zmieszaniu z powietrzem jako palna mieszanka gazowa spala się w komorze wylotowej 2, natomiast wytwarzający się karbonizat pod wpływem sił ciężkości i obrotów pochylonej komory obrotowej 1 zsyguje się do paleniska fluidalnej komory 3, gdzie ulega całkowitemu spalaniu. Palna mieszanka gazowa i karbonizat zapalają się od płomienia zapłonowego palnika 5 osadzonego w górnej części komory wylotowej 2 i zasilanego paliwem stabilizującym poprzez węzeł armatury przypalnikowej 9 oraz zasilanego powietrzem pierwotnym i wtórnym z wentylatora 6. Proces spalania paliwa w palniku głównym prowadzi się z lekkim niedomiarem powietrza w celu wytworzenia w początkowej części komory obrotowej lekkiej atmosfery redukcyjnej, która zapobiega spalaniu gazów pirolitycznych i nadmiernemu wzrostowi temperatury w komorze obrotowej 1.

Komora wylotowa połączona jest z czopuchem 10, który wprowadza spaliny do kotła odzysknicowego. Komora wylotowa 2 wyposażona jest w króćce do pomiaru płomienia temperatury spalin i ciśnienia. Komora wylotowa 2 jest w dolnej części połączona z fluidalną komorą spalania zawierającą dno sitowe, króciec zasilający skrzynię powietrza, rurę zsygową popiołu z podajnikiem umieszczonym w zbiorniku napełnionym wodą. W płaszczu i wymurówce czopucha spalin 10 są osadzone króćce do pomiaru temperatury, poboru spalin do analizy chemicznej oraz do pomiaru ciśnienia.

Charakterystyka fizykochemiczna mączki mięsno-kostnej i tłuszczu zwierzęcego

Wyniki analizy technicznej i elementarnej mączki mięsno-kostnej przedstawiono w tabeli 1.

Mączka mięsno-kostna charakteryzuje się niską zawartością wilgoci (w próbie dostarczonej $W^r = 4,21$) i dużą zawartością popiołu ($A^d = 18,58\%$).

Ilość części lotnych w próbie dostarczonej jest bardzo wysoka $V^r = 71,50\%$, po przeliczeniu na próbę suchą i bezpopiołową. $V^{daf} = 91,68\%$ wskazuje, że prawie cała substancja organiczna mączki mięsno-kostnej przy podgrzaniu do temperatury 830°C przechodzi w części lotne, które stanowią palny gaz węglowodorowy. Pozostała część substancji organicznej mączki, tzw. „pozostałość koksowa” zwana karbonizatorem składa się prawie w 100% z pierwiastka C.

Analiza elementarna pozostałości koksowej oprócz pierwiastka C stwierdziła ślady siarki (S^{daf} około 0,05%) i ślady substancji mineralnej (A_{org} około 0,15%), które jak można przypuszczać, organicznie były związane z pierwiastkami w substancji organicznej mączki. Poza siarką i substancją mineralną w karbonizacie nie stwierdzono innych pierwiastków.

Tabela 1

Wyniki analizy technicznej i elementarnej mączki mięsno-kostnej

Rodzaj oznaczenia	Symbol, jednostka	Wartość
Wilgoć – w próbie dostarczonej	$W^t, \%$	4,21
Zawartość popiołu – w próbie dostarczonej – stan suchy	$A^t, \%$ $A^d, \%$	17,80 18,58
Zawartość części lotnych – w próbie dostarczonej – w próbie suchej bezpopiołowej	$V^t, \%$ $V^{daf}, \%$	71,50 91,68
Ciepło spalania – w próbie dostarczonej	$Q^t_j, \text{kJ/kg}$	23979
Skład elementarny:		
Węgiel	$C^a, \%$	48,00
Wodór	$H^a, \%$	7,06
Azot	$N^a, \%$	3,56
Siarka	$S^a, \%$	0,10
Tlen	$O^a, \%$	41,28

Mączka mięsno-kostna charakteryzuje się wysokim ciepłem spalania (23979 kJ/kg) porównywalnym z wysokiej klasy węglem energetycznym. Pod względem klasyfikacji węgli jest podobna do niskozapopielenego węgla brunatnego, a szczególnie do jego wysokożywiczej odmiany petrograficznej piropissytu.

Wysokie ciepło spalania wynika głównie z wysokiej zawartości wodoru. Wysoka zawartość tlenu ($O^a = 41,280\%$) stawia mączkę mięsno-kostną w gronie paliw o wysokiej reaktywności i daje możliwość podawania mączki mięsno-kostnej do komory spalania z niewielką ilością powietrza. Tlen zawarty w substancji organicznej mączki stanowi prawie 40% tlenu niezbędnego do całkowitego spalania.

Niewielka zawartość siarki ($S^a = 0,10\%$) wskazuje na organiczne jej pochodzenie. Siarka ta w 100% jest siarką palną, związaną z substancją organiczną mączki kostnej. Siarka ta w bardzo niewielkiej ilości nie stanowi żadnego zagrożenia dla otoczenia. Nie stwierdzono również w produktach pirolizy żadnych związków siarki z węglem, wodorem lub azotem, które mogłyby stanowić zagrożenie ekologiczne.

Wysoka zawartość azotu ($N^a = 3,56$), który chemicznie jest związany z substancją organiczną mączki będzie powodować powstanie tzw. paliwowych tlenków azotu. Pod względem zawartości azotu mączka znajduje się w gronie wysoko zaazotowanych węgli energetycznych.

Wysoka zawartość części lotnych $V^{daf} = 91,68\%$ powoduje, że proces spalania mączki sprowadza się głównie do procesu pirolizy i spalania się wydzielonych gazów węglowodorowych. Faza ta wynosi 90% całkowitego czasu wypalania ziaren mączki. Określona w warunkach standartowych wynikających z PN ilość części lotnych pochodzi z procesu powolnego nagrzewu substancji organicznej mączki. Warunki procesu spalania mączki w komorze kotła odbiegają znacznie od warunków określonych w PN.

W trakcie procesu spalania temperatura ośrodka, do którego wprowadzana jest mączka jest znacznie wyższa i wynosi około 1600°C. Proces termiczny przemiany mączki przebiega w warunkach tzw. szybkiej pirolizy, w której w gaz węglowodorowy przechodzi większa masa substancji organicznej mączki. Określona w tych warunkach ilość części lotnych wynosi $V^{daf} = 96,47\%$. Pozostała część mączki w ilości niecałkowitej 4% występuje jako karbonizat o bardzo wysokiej porowatości (ε około 85%), spala się w postaci fazy stałej.

Analizy dotyczące składu elementarnego i własności fizykochemicznych tłuszczu (tab. 2) oraz wyniki badań procesu spalania nie świadczą o zagrożeniu ekologicznym przy jego termicznym przekształcaniu. Określony skład chemiczny oraz własności energetyczne i fizyczne nie wskazują na możliwość powstania związków szkodliwych dla atmosfery. Zawartość siarki jest śladowa (około 0,05%) i wskazuje na obecność siarki, która biologicznie jest związana z substancją organiczną tłuszczu. Zawartość ta jest znacznie mniejsza od zawartości siarki w olejach lekkich; napędowym i opałowym. Podobnie zawartość azotu (około 0,8%) można określić jako azot organiczny związany biologicznie z substancją tłuszczową zwierząt.

Zawartość wilgoci i popiołu jest porównywalna z wielkością osadu i ilością wody w oleju opałowym.

Tabela 2

Analiza techniczna i elementarna tłuszczu zwierzęcego

Rodzaj oznaczenia	Symbol, jednostka	Wartość
Zawartość wilgoci	$W^a, \%$	0,56
Zawartość popiołu – analityczna – stan suchy	$A^a, \%$ $A^d, \%$	0,84 0,84
Zawartość części lotnych – analityczna – stan suchy, bez popiołu	$V^a, \%$ $V^{daf}, \%$	98,44 99,84
Ciepło spalania	$Q^a_s, \text{kJ/kg}$	40.958
Wartość opałowa	$Q^a_j, \text{kJ/kg}$	38.316
Skład elementarny:		
Azot	$N^a, \%$ $N^{daf}, \%$	0,80 0,81
Węgiel	$C^a, \%$ $C^{daf}, \%$	75,41 76,48
Wodór	$H^a, \%$ $H^{daf}, \%$	12,04 12,21
Siarka	$S^a, \%$ $S^t, \%$	0,05 0,05
Tlen	$O^v, \%$	19,64

Ciepło spalania jest wyższe od ciepła spalania ciężkich olei opałowych (mazut) i jest porównywalne z ciepłem spalania lekkich olei opałowych. Analiza chemiczna tłuszczu nie wykazała innych pierwiastków lub związków chemicznych, które podczas spalania mogłyby generować substancje szkodliwe dla otoczenia.

Badania procesu spalania tłuszczu w instalacji doświadczalnej o mocy 15 MW wykazały, że przy optymalnej pracy palnika proces spalania jest całkowity i zupełny, tzn., że w spalinach jest zawarty jedynie dwutlenek węgla (CO_2), para wodna (H_2O) i azot atmosferyczny (N_2) ze śladami dwutlenku siarki (SO_2) oraz tlenku azotu (NO_x) poniżej 200 mg/um^3 .

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań procesu spalania można stwierdzić, że przebadany tłuszcz może być wykorzystywany do przekształceń termicznych jako paliwo stabilizujące proces zapłonu i spalania mączki kostnej bez jakichkolwiek zagrożeń ekologicznych.

Technologia spalania

Komora pieca zespolonego, układ zasilania paliwem stabilizującym i odpadami zwierzęcymi oraz układ technologiczny kotła posiadają pełny monitoring. Układ kontrolowany jest przez system oparty na programowalnym sterowniku SIMATIC S7-300 wyposażonym w system wizualizacji parametrów pracy. Odpady zwierzęce do komory obrotowej pieca zespolonego można dostarczać w postaci: surowej, pulpy, częściowo przetworzonej w destruktorach lub w postaci mączki mięsno-kostnej.

Technologia spalania mączki mięsno-kostnej

Zapłon i stabilizacja procesu spalania mączki kostno-mięsnej (SRM) odbywa się od żagwi płomienia stabilizującego. Żagiew płomienia powstaje ze spalania oleju, gazu, a korzystnie tłuszczu zwierzęcego w palniku gazodynamicznym z wewnętrznym mieszaniami i rozpylaniem parowym [1–3].

Wprowadzenie mączki mięsno-kostnej w ruch wirowy zapewnia dostateczny czas pobytu ziaren mączki w strefie wysokich temperatur (powyżej 1200°C), które zapewniają całkowite wypalenie ziaren mączki. Po wprowadzeniu mączki mięsno-kostnej w strefę czoła płomienia stabilizującego o temperaturze rzędu 1580°C następuje szybka piroliza ziaren mączki, podczas której wydziela się około 90% (udziału masowego) części lotnych. Części lotne w postaci gazowej spalają się zupełnie w strefie wysokich temperatur płomienia tłuszczowego w atmosferze bogatej w tlen do CO_2 , H_2O w obszarze komory wylotowej. Pozostałość koksowa (około 10% udziału masowego) po odgazowaniu znajduje się w strefie temperatur powyżej 1300°C , które zapewniają całkowite wypalenie ziaren pozostałości koksowej powstałych w wyniku szybkiej pirolizy mączki mięsno-kostnej.

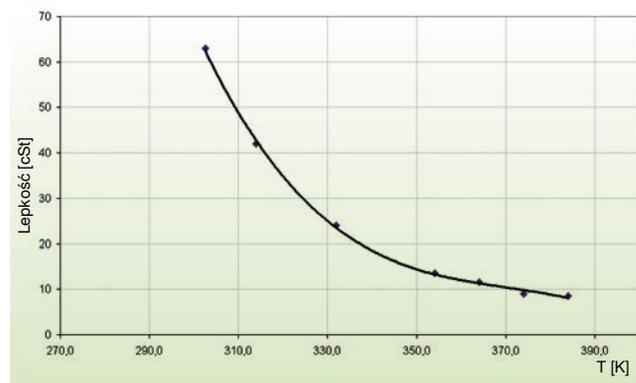
Proces szybkiej pirolizy mączki mięsno-kostnej przebiegający w strefie czoła frontu płomienia stabilizującego zapewnia z jednej strony przejście około 90% udziału masowego mączki w fazę gazową, która łatwo ulega zapłonowi i pełnemu spalaniu, a z drugiej strony powoduje powstanie ziaren karbonizatu o bardzo wysokiej reaktywności, która zapewnia całkowite i pełne spalanie bez emisji substancji szkodliwych w gazach spalinowych oraz śladów substancji organicznej w odprowadzanym popiele.

Technologia spalania tłuszczu zwierzęcego

Do spalania tłuszczu zostały zastosowane lance palników gazodynamicznych z wewnętrznym mieszaniami typu K chronione

patentami [1–3] o wydajności nominalnej 300 kg/h i płynnej regulacji w zakresie od 30 do 400 kg/h przy zachowaniu całkowitego i zupełnego spalania.

Podstawowe parametry pracy palnika to: rodzaj, ciśnienie i temperatura substancji rozpylanej i czynnika rozpylającego. Ciśnienie substancji rozpylanej zmienia się od $0,05$ do $1,0 \text{ MPa}$, a czynnika rozpylającego od $0,2$ do $1,5 \text{ MPa}$. Zużycie czynnika rozpylającego w zależności od stopnia obciążenia palnika zmienia się od 7 do 15% zużycia substancji rozpylanej, czyli tłuszczu zwierzęcego. Czynnikiem rozpylającym może być para wodna wilgotna lub przegrzana, albo powietrze. Temperatura pary może się zmieniać od minimalnej temperatury pary nasyconej do maksymalnej rzędu 620 K , co podyktowane jest dopuszczalną temperaturą pracy armatury odcinająco-sterującej. Temperatura powietrza może być równa temperaturze otoczenia lub równa dowolnie wyższej temperaturze, lecz niższej od 620 K . Temperatura (substancji rozpylanej) tłuszczu musi zapewnić lepkość umożliwiającą przepływ tłuszczu rurociągami zasilającymi. Im wyższa temperatura tłuszczu, tym jego lepkość jest niższa (rys. 2) i tym lepsze są warunki do transportu i do rozpylania w głowicy palnika.



Rys. 2. Zależność lepkości kinematycznej tłuszczu od temperatury

Lepkość tłuszczu powyżej 373 K praktycznie nie ulega zmianie i nie obniża się ze wzrostem temperatury. Przy temperaturze 372 K osiąga wartość około $9,2 \text{ cSt}$ i jest graniczną wartością lepkości tłuszczu zwierzęcego niezależną od temperatury.

Badania procesu spalania obejmowały:

- rodzaj i moc źródła zapłonowego,
- sposób doprowadzenia powietrza do spalania,
- rodzaj i sposób stabilizacji frontu płomienia,
- sposób i rodzaj dozoru płomienia,
- skład mieszanki palnej wzdłuż żagwi płomienia
- skład spalin na wylocie z komory spalania.

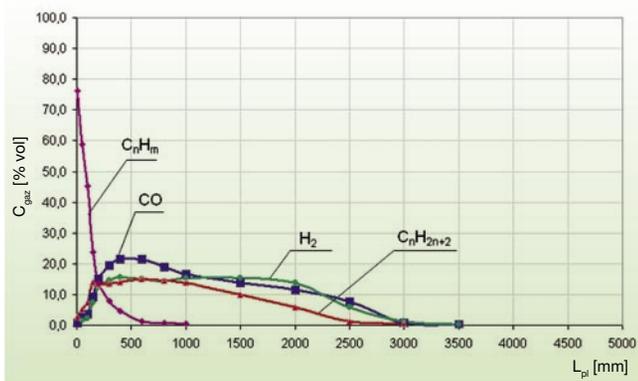
Badania nad rodzajem i mocą źródła zapłonowego [9] wykazały, że bardzo wysoką skuteczność zapłonu tłuszczu osiąga się przy zastosowaniu wysokoenergetycznej zapalarki elektrycznej firmy *Fireeye* zasilanej prądem o napięciu 220 V . Moc wytwarzanej iskry rzędu 10 J jest wystarczającą do skutecznego uruchomienia palnika. Wysokoenergetyczna zapalarka typu HESI firmy *Fireeye* jest bezpiecznym w stosunku do innych źródeł zapłonowych („kwacz” nasączony olejem opałowym lub zapalarka gazowa z zapalarką elektryczną na 10 kV) i pewnym eksploatacyjnie urządzeniem zapłonu tłuszczu.

Powietrze do spalania rozdzielone zostało na powietrze „pierwotne” i powietrze „wtórne”. Powietrze podawane jest poprzez skrzynię palnikową z odpowiednio ukształtowanym kanałem powietrza „pierwotnego” i „wtórnego” [10]. Dla uzyskania stabilnego frontu płomienia kanał powietrza „pierwotnego” zakończony jest stabilizatorem w kształcie stożka.

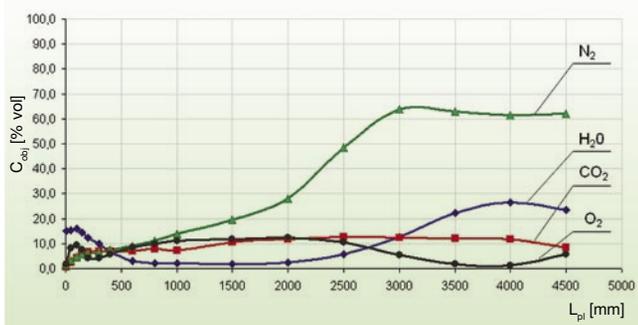
Optymalne prędkości powietrza, przy których front płomienia jest stabilny, a skuteczność zapłonu 100% wynoszą: powietrze „pierwotne” 8–12 m/s, powietrze „wtórne” 20–25 m/s.

Kontrola istnienia płomienia z punktu widzenia instalacji jest bardzo ważnym elementem jej bezpieczeństwa [11]. Sygnał od istnienia płomienia jest jednym z głównych zabezpieczeń instalacji kotłowej. Właściwy dobór urządzenia dozoru płomienia ma ogromny wpływ na pewność eksploatacyjną komory spalania oraz bezpieczeństwo obsługi i otoczenia kotłowni. Przeprowadzone testy różnego rodzaju urządzeń dozoru płomienia wykazały, że największą powtarzalność w generowaniu sygnałów z dozowanego płomienia posiada skaner działający w podczerwieni, posiadający dużą zdolność dyskryminacji i reagowania tylko na obecność lub brak dozowanego płomienia i ignorowania innych źródeł płomienia z obszaru komory spalania. Najlepiej spełniającym te wymogi jest skaner typu 45RM4-1001 firmy *Fireye*, działający w podczerwieni i posiadający dużą rozdzielność i dyskryminację innych źródeł promieniowania.

Wyniki pomiarów określające rozkład stężeń składników gazowych powstałych w wyniku przemiany fazowej tłuszczu w paliwo gazowe oraz procesów pirolizy i utleniania paliwa wzdłuż osi palnika i wzdłuż komory spalania przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Rozkład stężeń składników gazowych wzdłuż osi palnika

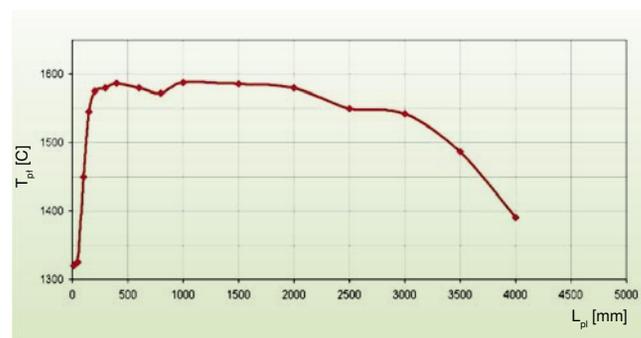


Rys. 4. Rozkład stężeń produktów spalania wzdłuż osi palnika

Badania składu chemicznego wzdłuż żagwi płomienia prowadzono w komorze spalania przy pomocy systemu pomiarowego przedstawionego w [12–13]. Mierzono stężenie następujących składników: O_2 , CO , CO_2 , H_2 , H_2S , CH_4 oraz sumy C_nH_m przy pomocy analizatorów ULTRAMAT 23 typu NDIR oraz analizatora IMR-3. Pobierano również próbki do analizy chromatograficznej, gdzie określano stężenie C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_8 oraz C_4H_{10} .

Pobór próbek gazu dokonano w osi żagwi płomienia co 50 mm począwszy od głowicy lancy palnika oraz w dalszej części płomienia co 200 mm i 500 mm.

Pomiary temperatury żagwi płomienia dokonano przy pomocy pirometru dwubarwnego, w tych samych punktach, co pobierano próbki gazu. Rozkład temperatury wzdłuż żagwi płomienia przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Rozkład temperatury płomienia wzdłuż żagwi spalającego się tłuszczu

Tłuszcz zwierzęcy jest niestabilny termicznie. W wysokich temperaturach przy niedoborze tlenu podlega równocześnie odparowaniu i rozkładowi na węglowodory ciężkie i lekkie, które z kolei rozkładają się na wodór i tlenek węgla.

Na podstawie otrzymanych wyników prześledzić można drogę przejścia od fazy płynnej poprzez węglowodory ciężkie do węglodorów lekkich oraz wodoru i tlenku węgla. Przejście to jest szczególnie szybkie w sąsiedztwie głowicy palnika na odcinku do 200 mm. W bezpośrednim sąsiedztwie głowicy na odcinku do 50 mm występują prawie wyłącznie krople tłuszczu i pierwotne frakcje zawierające głównie węglowodory ciężkie. Obecne w tej przestrzeni niewielkie ilości tlenu węgla i węglodorów lekkich pochodzą głównie z termicznego rozkładu tłuszczu przez parę rozpylającą.

Realizacja stabilnego płomienia tłuszczu oraz całkowitego i zupełnego spalania, tzn. braku cząstek sadzy i ciężkich Wielopierścieniowych Węglodorów Aromatycznych (WWA) w końcu żagwi płomienia wymaga szybkiego wygenerowania palnych składników gazowych o szerokich, stężeniowych granicach zapłonu i obecności tlenu koniecznego do szybkiego, częściowego utlenienia węglodorów, nim rozpoczną się procesy polimeryzacji i krakingu.

Osiągnięcie wysokich stężeń wodoru, tlenku węgla, acetylenu i węglodorów lekkich w pobliżu głowicy palnika wyjaśnia wysoką stabilność płomienia i zupełne spalanie, dzięki czemu płomień posiada dużą odporność na zerwanie i zgaśnięcie oraz brak w spalinach sadzy i substancji szkodliwych dla otoczenia. Rozkład temperatur żagwi płomienia tłuszczu wzdłuż komory spalania ma

bardzo istotne znaczenie dla procesu zapłonu i spalania mączki kostnej. Żagiew płomienia stanowi źródło zapłonu i stabilizacji wypalania mączki kostnej. Temperatura żagwi płomienia tłuszczu musi spełniać jeden podstawowy warunek, musi być wyższa od minimalnej temperatury zapłonu ziaren mączki kostnej. Według obligatoryjnych wymogów wynikających z bezpiecznego termicznego przekształcenia mączki kostnej w bezpieczne dla otoczenia produkty spalania ustalono, że minimalna temperatura ośrodka komory spalania powinna nie być niższa od 850°C. Umieszczenie w osi komory spalania palnika tłuszczu wymóg ten całkowicie spełnia.

Z rysunku 5 wynika, że temperatura żagwi płomienia na całej długości komory jest znacznie wyższa od minimalnej temperatury spalania mączki kostnej.

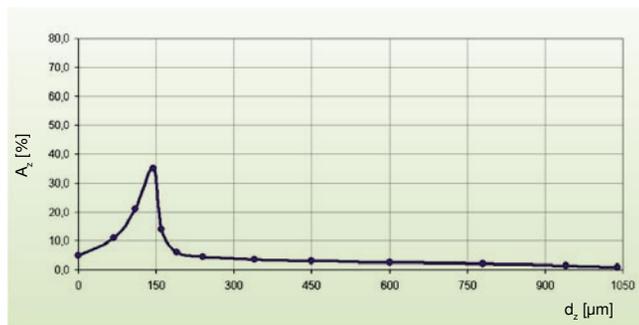
Czoło frontu płomienia tłuszczu tworzy się w odległości 20-30 mm od głowicy dyszowej lancy palnika. Temperatura w czole frontu płomienia jest rzędu 1330°C. Żagiew płomienia jest w pełni ukształtowana w odległości około 200 mm od głowicy lancy. Pomiary temperatury czoła frontu płomienia były wykonane co 100 mm, w ustabilizowanej części żagwi co 200 mm i co 500 mm. Temperatura żagwi płomienia na długości do 2000 mm jest ustabilizowana i wynosi około 1580°C. W tylnej części żagwi temperatura płomienia stopniowo spada na skutek oddawania ciepła do otoczenia, by w końcowej części osiągnąć temperaturę około 1390°C. Proces spalania tłuszczu praktycznie kończy się na odcinku komory spalania poniżej 4000 mm.

Z rysunku 3 wyraźnie wynika, że w odległości 3000 mm od głowicy dyszowej palnika w żagwi płomienia nie ma żadnych palnych składników gazowych, występują jedynie produkty spalania w postaci dwutlenku węgla, pary wodnej, azotu oraz niewielkie ilości tlenu.

Charakterystyka kinetyczna mączki mięsno-kostnej

W celu przeprowadzenia badań nad charakterystykami kinetycznymi rozfrakcjonowano mączkę na frakcje ziarnowe: 20÷50, 50÷85, 85÷128, 128÷156, 172÷200, 200÷300, 300÷400, 400÷500, 500÷700, 700÷860, 860÷1000 i 1000÷1200 µm.

Rozkład sitowy ziaren mączki przedstawiony jest na rysunku 6. Z krzywej rozkładu widać, że przeważają frakcje ziarnowe od 100 µm do 200 µm. Mniejszych frakcji od 100 µm jest około 15–20%, a frakcji większych od 200 µm poniżej 8%.



Rys. 6. Rozkład sitowy mączki mięsno-kostnej

Badania nad charakterystykami kinetycznymi obejmowały określenie:

- minimalnej temperatury zapłonu pyłu monofrakcyjnego w zależności od wielkości frakcji ziarnowej,
- czasu zapłonu części lotnych,
- czasu spalania części lotnych,
- czasu wypalenia pozostałości koksowej,
- całkowitego czasu spalania ziaren w zależności od wielkości frakcji ziarnowej i temperatury ośrodka.

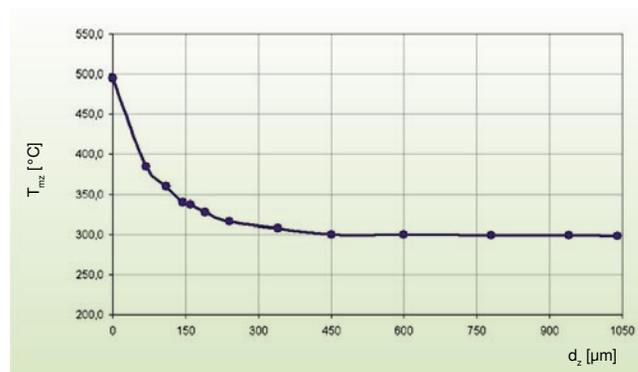
Przeprowadzono badania procesu spalania chmury ziarnowej w atmosferze powietrza przy temperaturze ośrodka gazowego 850°C, 950°C, 1050°C, 1150°C i 1250°C w piecu opadowym. Badania nad minimalną temperaturą zapłonu ziaren mączki przeprowadzono dla pojedynczych ziaren metodą „igły kwarcowej”.

Minimalna temperatura zapłonu

Minimalna temperatura zapłonu ziaren mączki przedstawiona jest na rysunku 7.

Jako minimalną temperaturę przyjęto temperaturę ośrodka gazowego, przy której następuje zapłon i wypalanie ziarna.

Najwyższą temperaturę zapłonu posiadają ziarna o najmniejszych wymiarach. Najmniejsze frakcje ziarnowe wymagają do zapłonu temperatury ośrodka gazowego od 400°C do 500°C. Frakcje ziarnowe o średnicy od 100 do 200 µm zapalają się w temperaturze ośrodka od 320°C do 360°C. Najniższą temperaturę zapłonu posiadają frakcje powyżej 200 µm. Minimalna temperatura zapłonu tych frakcji bardzo niewiele zależy od średnicy ziarna i zawiera się w granicach 300°C.

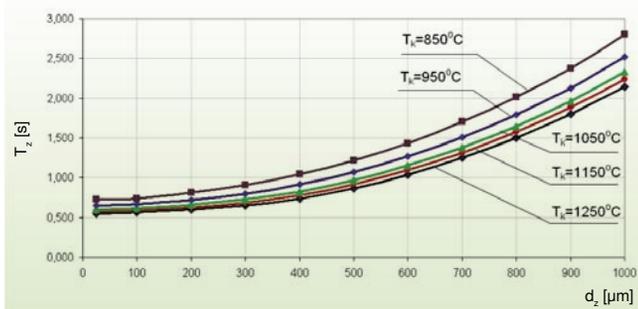


Rys. 7. Minimalna temperatura zapłonu w zależności od wielkości ziarna

Czas zapłonu

Zależność czasu zapłonu ziaren mączki od wielkości frakcji ziarnowej i temperatury komory spalania przedstawiona jest na rysunku 8.

Czas zapłonu jest praktycznie równy czasowi, w którym nastąpi termiczny rozkład substancji organicznej ziarna i utworzy się mieszanka gazowa zdolna do zapłonu. Najniższy czas zapłonu, poniżej 1 s, mają ziarna o najmniejszych rozmiarach. Czas zapłonu ziaren rośnie z wielkością ziarna i spadkiem temperatury komory spalania. Ziarna najmniejsze w temperaturze 1250°C zapalają się po czasie około 0,5 s.



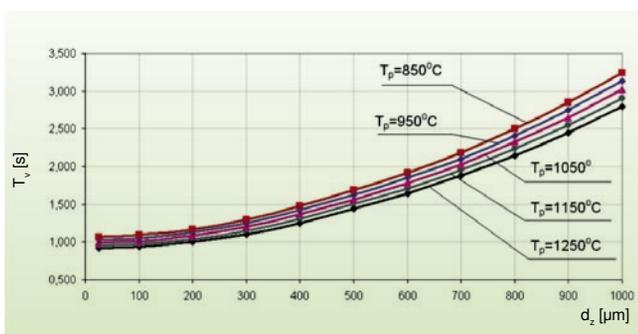
Rys. 8. Czas zapłonu ziaren mączki w zależności od średnicy ziarna i temperatury komory

Czas zapłonu ziaren asymptotycznie dąży ze wzrostem temperatury do wartości granicznej, która jest charakterystyczna dla danej substancji organicznej. Można przyjąć, że główna masa frakcyjna o rozmiarach od 100 do 200 μm będzie ulegać zapłonowi w temperaturach komory spalania rzędu 1500°C w czasie około 0,4 s.

Czasy poszczególnych faz spalania

Czas spalania części lotnych dotyczy tej fazy procesu, w którym wydzielone gazy węglowodorowe utworzą mieszaninę palną i ulegną spalaniu tworząc zamknięty front spalania wokół ziarna mączki. W czasie fazy wypalania części lotnych zaobserwowano wybuchowy charakter procesu. Dotyczyło to szczególnie frakcji ziarnowych o najwyższych rozmiarach. W początkowej fazie procesu części lotne wydzielają się w sposób wybuchowy powodując rozrywanie się dużych ziaren na małe fragmenty.

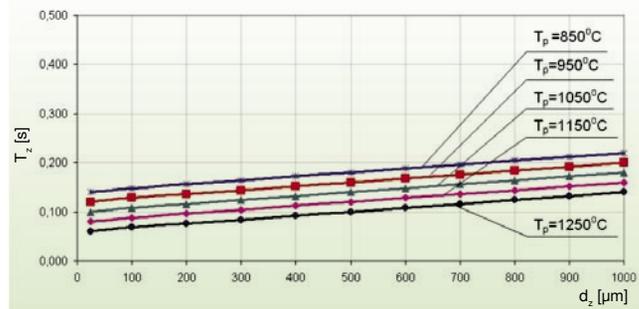
Zależność czasu wypalania się części lotnych od wielkości frakcji ziarnowej i temperatury komory spalania przedstawia rysunek 9.



Rys. 9. Czas wypalania się części lotnych w zależności od średnicy ziarna i temperatury komory

Czas spalania części lotnych rośnie ze wzrostem wielkości ziarna i maleje prawie proporcjonalnie ze wzrostem temperatury komory spalania. Wychodząc z tej zależności można sądzić, że przy temperaturze komory 1500°C czas spalania części lotnych frakcji ziarnowej od 100 do 200 μm będzie wynosić 0,6 s, a najgrubszej frakcji od 1000 do 1200 μm około 2,6 s.

Czas spalania pozostałości koksowej w zależności od frakcji ziarnowej i temperatury komory spalania przedstawiono na rysunku 10.

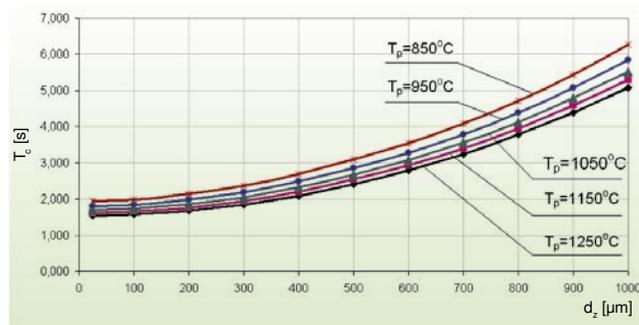


Rys. 10. Czas wypalania się pozostałości koksowej w zależności od średnicy ziarna i temperatury komory

Czas wypalania pozostałości koksowej w niewielkim stopniu zależy od średnicy ziarna i temperatury komory spalania. Niewielki wpływ średnicy ziarna na czas wypalania pozostałości koksowej wynika z rozpadu ziarna w czasie termicznego nagrzewu oraz fazy wydzielania i spalania części lotnych. Szybki nagrzew, tym większy im wyższa jest temperatura komory spalania, powoduje detonacyjne wydzielanie się części lotnych i rozerwanie ziarna na małe fragmenty.

Można przypuszczać, że w temperaturze 1500–1600°C szybkość nagrzewu ziaren będzie tak wysoka, że nastąpi detonacyjny rozpad ziarna na małe fragmenty, które będą ulegały spalaniu razem z częściami lotnymi.

Proces spalania ziaren mączki będzie się wówczas składał jedynie z fazy nagrzewu i fazy wydzielania i spalania części lotnych bez fazy spalania karbonizatu. Całkowity czas spalania ziaren mączki mięsno-kostnej w funkcji frakcji ziarnowej i temperatury komory spalania przedstawiony jest na rysunku 11.



Rys. 11. Całkowity czas wypalania ziaren mączki w zależności od średnicy ziarna i temperatury komory

Całkowity czas spalania ziaren mączki w dość dużym stopniu zależy od średnicy ziarna i temperatury spalania. Wyraźna zależność czasu spalania od temperatury komory jest szczególnie widoczna w obszarze niskich temperatur spalania. W miarę wzrostu temperatury komory spalania czas wypalania ziaren mączki asymptotycznie dąży do wartości granicznej, która dla ziaren 100–200 μm wynosi około 2 s.

Całkowity czas spalania ziaren w najwyższym stopniu zależy od termicznej pirolizy i czasu wypalania wydzielonych części lotnych. Faza termicznego rozkładu i spalania wydzielonych gazów pirolitycznych determinuje proces spalania ziaren mączki.

Wnioski

1. Przebadane materiały posiadają stosunkowo niskie wartości opałowe w stanie roboczym. Dla stabilnego i nieszkodliwego dla otoczenia procesu spalania wymagają stabilizacji termicznej przy pomocy paliwa o wysokim ciepłe spalania.
2. W procesie termicznej utylizacji spalać się będą z dodatnim efektem termicznym, co pozwoli odnieść korzyści ekonomiczne w postaci wytworzonej pary lub gorącej wody.
3. Spaliny nie zawierają substancji szkodliwych dla atmosfery.
4. Popiół nie zawiera pierwiastków metali ciężkich ani związków zagrażających otoczeniu, a szczególnie glebie.
5. Utylizacja termiczna przebadanych produktów odpadowych przy zrealizowaniu procesu całkowitego i zupełnego spalania jest właściwym kierunkiem dla osiągnięcia pozytywnych efektów ekonomicznych i ekologicznych.
6. W czasie utylizacji proces spalania odpadów zwierzęcych nie jest uciążliwy dla otoczenia. Nie stwierdzono przykrych zapachów wydzielających się w czasie procesu spalania jak również w wychodzących z komina spalinach oraz w popiele odprowadzanym na składowisko.
7. Termiczna utylizacja odpadów zwierzęcych przynieść może duże efekty ekonomiczne wynikające z oszczędności za opłaty utylizacyjne uiszczane dla obcych jednostek gospodarczych oraz z tytułu oszczędności na paliwie konwencjonalnym dla wytworzenia określonej ilości ciepła technologicznego dla zakładu.
8. Umieszczenie palnika gazodynamicznego do spalania zapewnia zapłon i spalanie mączki mięsno-kostnej. Wysoka temperatura żagwi płomienia tłuszczowego (około 1580°C) w pełni zabezpiecza zapłon mączki mięsno-kostnej.

LITERATURA

- [1] Zgłoszenie patentowe P360207 z dnia 19.05.2003r. pt. „Sposób i instalacja spalania odpadów zwierzęcych”
- [2] Zgłoszenie patentowe P362586 z dnia 02.10.2003r. pt. „Sposób i urządzenia do termicznej utylizacji odpadów organicznych”
- [3] Patent nr 175529 z dnia 05.11.1994r. pt. „Sposób i układ automatycznego sterowania pracą gazodynamicznych palników mazutowych, rozpałkowo-podtrzymujących w kotłach energetycznych”
- [4] Patent nr 181624 z dnia 18.01.1997r. pt. „Układ zapłonu ciężkich paliw płynnych w komorze spalania kotła energetycznego”
- [5] Zgłoszenie patentowe P351191 z dnia 14.12.2001r. pt. „Zespół dozoru płomienia”
- [6] Patent nr 165780 z dnia 18.02.1990r. pt. „Węzeł armatury trzypalnikowej do współpracy z palnikiem mazutowym rozpałkowym, zwłaszcza do rozpalania kotłów energetycznych”
- [7] Patent nr 162314 z dnia 19.02.1990r. pt. „Sposób chłodzenia i czyszczenia głowicy palnika olejowego dwuczynninkowego, układ do chłodzenia, czyszczenia głowicy palnika olejowego dwuczynninkowego”
- [8] Patent nr 164172 z dnia 01.10.1990r. pt. „Palnik do spalania paliwa ciekłego”
- [9] Karcz H., Adynowski J., Sokołowski P.: System zapłonu palników olejowych. *Prace Naukowe ITCiMP Politechniki Wrocławskiej*, zeszyt nr 56, seria *Konferencje* nr 10
- [10] Karcz H., Sikorski W., Przegaliński K., Butmankiewicz J.: Problemy stabilności płomieni olejowych w palnikach wielkiej mocy Krajowa Konferencja Energetyczna. Poznań – Rydzyna 20-22.10.1999
- [11] Adynowski J., Sokołowski P., Karcz H.: System dozoru płomienia dla kotłów energetycznych i ciepłowniczych. *Prace Naukowe ITCiMP Politechniki Wrocławskiej*, zeszyt nr 56, seria *Konferencje* nr 10
- [12] Karcz H., Butmankiewicz J., Andryjowicz Cz.: Stabilność eksploatacyjna palników. *Prace Naukowe ITCiMP Politechniki Wrocławskiej*, zeszyt nr 56, seria *Konferencje* nr 10
- [13] Karcz H., Andryjowicz Cz., Przegaliński K.: Stabilność, pewność eksploatacyjna palników olejowych wielkiej mocy. *Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej*, seria *Elektryka* nr 255/2000 z. nr 49
- [14] Karcz H., Zembrzusi M.: Kinetyczne charakterystyki paliw stałych w świetle ich fizykochemicznych własności. *Archiwum Energetyki* 1974, nr 3, s. 135–151



Dr inż. Eugeniusz Orszulik,
Główny Instytut Górnictwa, Katowice
mgr inż. Dorota Lenkiewicz,
Saria Polska Sp. z o.o., Długi Borek, gmina Świątajno

Współspalanie węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną w kotłach rusztowych

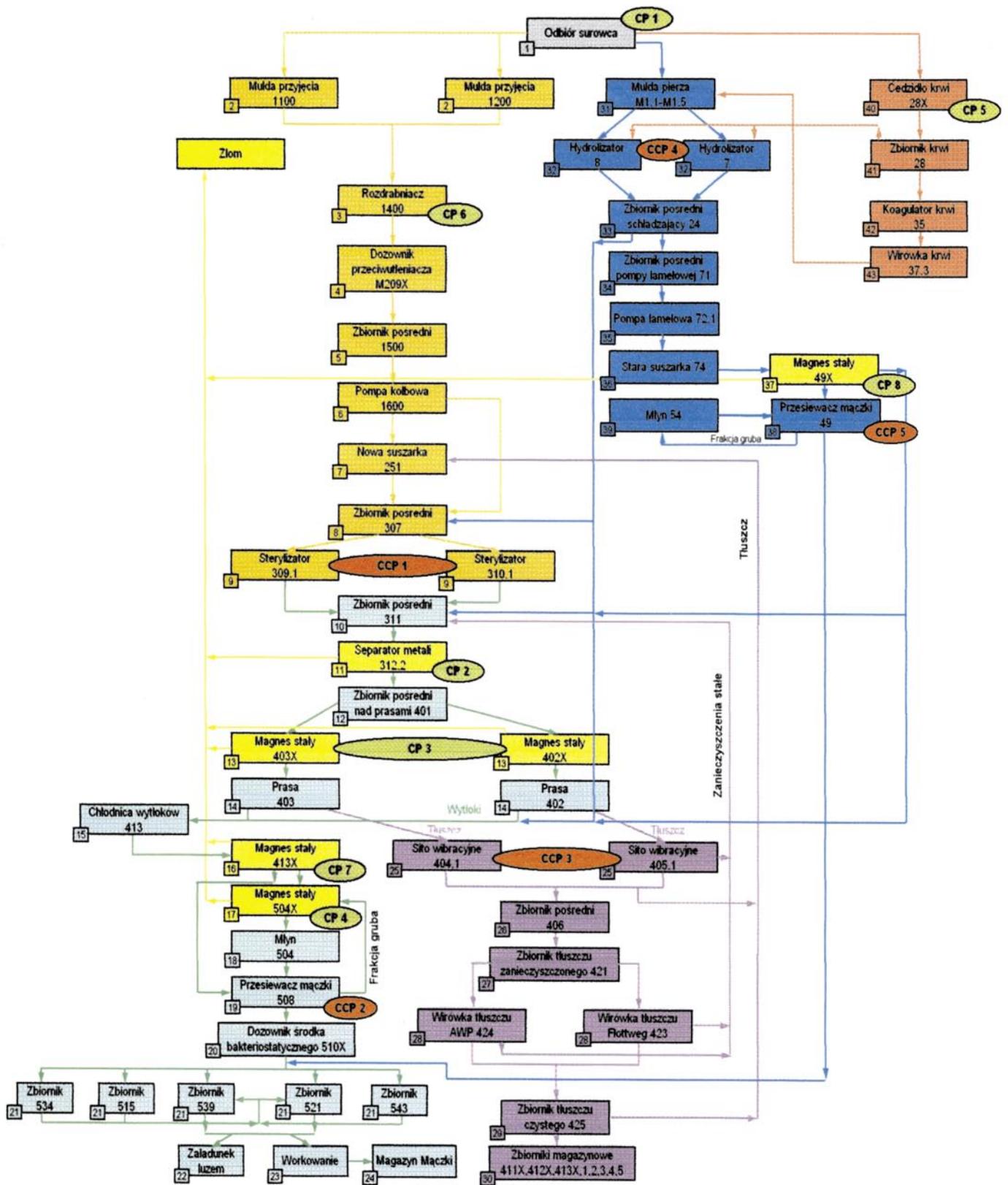
Produktem finalnym unieszkodliwienia odpadów poubojowych jest mączka mięsno-kostna i tłuszcz techniczny-utylizacyjny. Mączki mięsne i mięsno-kostne powstają w wyniku poddania odpadowej tkanki zwierzęcej obróbce termicznej w temperaturze do 132°C. Technologia produkcji oparta jest na następujących procesach :

- segregacja i rozdrabnianie surowca,
- suszenie (odparowanie namiaru wilgoci w surowcu),
- sterylizacja,;
- odseparowanie na prasach tłuszczu od wytlóków,
- mielenie i przesianie wytlóków na mączkę,

- hydroliza pierza i szczeciny metodą „hydrotechniczną” bez dodatku związków chemicznych z udziałem jedynie surowca, wody i energii cieplnej.

Schemat procesu wytwarzania mączki mięsno-kostnej przedstawiono na rysunku 1.

W związku z zakazem stosowania materiałów paszowych pochodzących z tkanek zwierzęcych I i II kategorii w żywieniu zwierząt gospodarskich podjęto próbę termicznego unieszkodliwienia przez współspalanie z węglem kamiennym w kotłach grzewczych w celu odzyskania entalpii chemicznej i odzysku energii do wytwarzania energii cieplnej w parze lub wodzie gorącej.



Rys. 1. Schemat technologiczny produkcji mączki mięsno - kostnej z odpadowej tkanki zwierzęcej

 – etap produkcji mączki mięsno-kostnej

Zgodnie z Rozporządzeniem MOŚ z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów, Dz.01.112.1206., mączki mięsne i mięsno-kostne sklasyfikowane są pod kodem 19 02 10 – odpady palne inne niż wymienione w 19 02 08 lub 19 02 09.

Jest to odpad inny niż niebezpieczny [1], który na mocy rozporządzeń:

1. Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 grudnia 2003 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 03. 1. 2,
2. Ministra Gospodarki z dnia 29 stycznia 2002 r. w sprawie rodzajów odpadów innych niż niebezpieczne oraz rodzajów instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się ich termiczne przekształcenie, Dz. U. 02. 37. 339,
3. Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 31 października 2003 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie rodzajów odpadów innych niż niebezpieczne oraz rodzajów instalacji i urządzeń, w których dopuszcza się ich termiczne przekształcenie, Dz. U. 03. 192. 1877.

może być dopuszczony do termicznego przekształcenia poprzez spalanie, pod warunkiem dotrzymania parametrów procesu spalania w kotle zapewniające utrzymanie temperatury gazów spalinowych (spalin) powyżej 850°C przez co najmniej 2 sekundy (spalana mączka mięsno – kostna zawierała do 1,05 związków chlorowcoorganicznych).

Emisja zanieczyszczeń pyłowo-gazowych emitowanych do powietrza atmosferycznego w wyniku współspalania mączki mięsno – kostnej z węglem kamiennym musi spełniać wymagania zawarte w Rozporządzeniu MŚ z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz. U. 03.163.1584, zał. 7. Zastosowanie mączki mięsno-kostnej jako produktu odpadowego może stanowić paliwo alternatywne do opalania kotłów energetycznych [2].

Opis badań

Badania przeprowadzono na kotle parowym typu ERm 8 o mocy 6,5 MW, wyposażonym w ruszt mechaniczny. Kocioł ERm 8 jest kotłem dwuciągowym z wielowarstwowymi konwekcyjnymi powierzchniami grzewczymi. Kocioł zaprojektowano do spalania węgla kamiennego jako paliwa podstawowego przystosowanego do pracy z płynnie obniżaną temperaturą wody kotłowej. Posiada konwekcyjną powierzchnię grzewczą dla bezpieczeństwa eksploatacji o dużej trwałości.

W tabeli 1 zamieszczono podstawowe parametry kotła.

Dane techniczne kotła

Tabela 1

Kocioł:	parowy
typ kotła	ERm 8
wydajność cieplna nominalna, MW	6,5
sprawność energetyczna, %	75

Spaliny z kotła odprowadzono przewodem spalinowym wykonanym ze stali o wysokości 40 m i średnicy 0,7 m. Proces spalania prowadzono tak, aby zapewniał utrzymanie temperatury w komorze spalania gazów spalinowych (spalin) powyżej 850°C

przez co najmniej 2 sekundy (spalane mączki mięsne i mięsno-kostne zawierały do 1,05 związków chlorowcoorganicznych), co zapewniło spełnienie warunków termicznego przekształcenia odpadów zgodnie z warunkami podanymi w Rozporządzeniach:

◆ Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 02. 37. 339,

◆ Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 grudnia 2003 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 03. 1. 2.

Badania i pomiary przeprowadzono w dwóch seriach pomiarowych, w których współspalano mączkę z węglem kamiennym w proporcjach 1 : 10% wag.

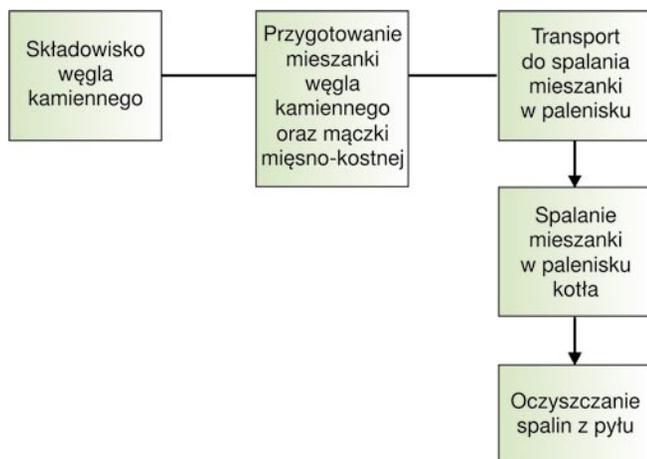
Badania i pomiary obejmowały:

- 1) pomiar zanieczyszczeń emitowanych do powietrza atmosferycznego z emitora kotła o mocy 6,5 MW typu ERm 8 w czasie współspalania mączki z węglem kamiennym w proporcjach 1 : 10% wag. na zawartość : pyłu ogółem, substancji organicznej w postaci gazów i par wyrażone jako całkowity węgiel organiczny, chlorowodoru, fluorowodoru, dwutlenku siarki, dwutlenku azotu, tlenku węgla, metali ciężkich i ich związków wyrażonych jako metal (Cd, Ni, Cr, Cu, V, Pb), parametrów spalin: temperatury, natężenia przepływu, wilgotności spalin, zawartości O₂, CO₂.
- 2) badania i pobranych próbek mączki mięsnej i mięsno-kostnej przewidzianej do współspalania z węglem kamiennym w proporcjach 1 : 10% wag.; wykonano badania własności energetycznych i palnych, tj. oznaczenie ciepła spalania, wartości opałowej, zawartości siarki, zawartości wody, pozostałości po spopieleniu, zawartości chloru,
- 3) oznaczenia parametrów spalania w komorze paleniskowej kotła, które obejmowały: pomiar temperatury wewnątrz komory spalania oraz prędkości przepływu spalin.

Montaż instalacji do współspalania węgla kamiennego z dodatkiem mączki mięsno-kostnej w kotłach rusztowych polegał na przystosowaniu urządzeń do istniejącego układu kotłowego. Montaż instalacji wymagał adaptacji i przystosowania istniejących urządzeń i obiektów:

- silosu na mączkę mięsno-kostną,
- stanowiska do przygotowania polegającego na zmieszaniu w odpowiednich proporcjach węgla kamiennego i mączki mięsno-kostnej,
- wykorzystania istniejącego odpylacza typu CE – 4×900 o skuteczności odpylania spalin 90%,
- wentylatora ciągu spalin usytuowanego za odpylaczem cyklonowym,
- kotła rusztowego – typu ERm 8,0,
- składowiska węgla kamiennego z urządzeniami transportowymi (podajniki, transportery itp.),
- składowiska żużla i popiołu.

Schemat ideowy instalacji do współspalania węgla kamiennego w kotłach rusztowych z mączką mięsno-kostną przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat instalacji do współspalania węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną w kotłach rusztowych

Wyniki badań i pomiarów

Badania mączki mięsno-kostnej

W kotle współspalany był węgiel kamienny z mączką mięsno-kostną. Wyniki badań stosowanych paliw zawarto w tabeli 2.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że mączka mięsno-kostna charakteryzuje się parametrami energetycznymi zbliżonymi do drewna. Charakteryzuje się średnią w porównaniu z paliwami pierwotnymi wartością opałową, wyższą zawartością popiołu, mniejszą zawartością siarki. Z zamieszczonych analiz wynika, że mączka kostna może stanowić dobry sorbent związków siarkowych powstających w procesie spalania. Zawartość siarki w węglu kamiennym była niska i wynosiła ok. 0,51%, a w mączce kostnej wynosi ok. 0,39%.

Tabela 2

Analiza węgla kamiennego i mączki mięsno-kostnej

Zawartość	Węgiel kamienny	Mączka mięsno-kostna
Siarki, %	0,51	0,39
Popiołu, %	16,53	28,66
Wartość opałowa, kJ/kg	22400	15240
Wilgoci całkowitej, %	12,28	7,20
CaO, %		12,71
MgO, %		0,34
Fluoru, %	0,01	0,004
Chloru, %		0,443

W tabeli 3 zamieszczono wyniki analiz mieszanki węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną przygotowaną do badań w proporcji 1 : 10% wag.

Tabela 3

Analiza mieszanki węglowej z mączką mięsno-kostną

Wyszczególnienie	Mieszanka
Zawartość siarki, %	0,50
Zawartość popiołu, %	18,10
Wartość opałowa, kJ/kg	21670
Wilgoć całkowita, %	12,47
Zawartość CaO, %	1,71
Zawartość MgO, %	0,40
Zawartość fluoru, %	0,01
Zawartość chloru, %	0,21

Mieszanka węgla kamiennego i mączki mięsno-kostnej w proporcji 1 : 10% wag. jest dobrym niskokalorycznym paliwem o wartości opałowej 21 670 kJ/kg, zawierającym tlenek wapnia ok. 12,71% wag., stanowiący dobry sorbent związków siarkowych powstających w procesie spalania. Zawartość siarki w przygotowanej mieszance paliwowej jest niska i wynosi ok. 0,50%.

Dodatek mączki kostnej do węgla kamiennego nie wpłynął w zasadniczy sposób na parametry paliwa stosowanego obecnie do spalania w kotle:

- wartość opałowa po dodaniu mączki kostnej zmniejszyła się z 22 400 do 21 670 kJ/kg,
- zawartość siarki w paliwie zmniejszyła się z 0,51 do 0,40%,
- zawartość popiołu w paliwie zwiększyła się z 16,53 do 18,10%.

Pomiary emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych

Wyniki pomiarów emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych otrzymanych w czasie prowadzenia prób współspalania węgla kamiennego oraz mączki mięsno-kostnej w kotle parowym typu ERm 8 zamieszczono w tabeli 4. Tabela 5 przedstawia wyniki stężeń emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych w czasie spalania węgla kamiennego i współspalania węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną oraz porównanie z dopuszczalnymi stężeniami wg Rozporządzenia MŚ z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz. U. 03.163.1584 załącznik nr 8 [5].

Zawarte w tabelach 4 i 5 wyniki pomiarów z przeprowadzonych prób spalania mączki mięsno-kostnej spełniają warunki dotrzymania standardów emisyjnych w procesie współspalania odpadów [5].

Parametry pracy kotła

W czasie współspalania węgla z mączką mięsno-kostną zapewniono spełnienie warunków termicznego przekształcania odpadów zgodnie z warunkami podanymi w Rozporządzeniach:

- Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcania odpadów, Dz. U. 02. 37. 339,

● Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 grudnia 2003 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 03. 1. 2.

Parametry pracy kotła w czasie prowadzenia badań współspalania węgla kamiennego i mączki mięsno-kostnej zamieszczono w tabeli 6.

Proces spalania w kotle zapewnił utrzymanie temperatury gazów spalinowych (spalin) powyżej 850°C i utrzymanie ich przez co najmniej 2 sekundy [3, 4].

Tabela 4
Wyniki pomiarów emisji substancji przy współspalaniu węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną

Źródło emisji	Wyszczególnienie	Węgiel kamienny	Mieszanka 1 : 10% wag.
Emitor E 1 kotła : ERm 8	Parametry spalin, °C temperatura na wylocie, m ³ /h natężenie przepływu spalin, m ³ /h	161,0 15515 9759	145 17244 11232
	Stężenie zanieczyszczeń, mg/m_u³ ● pył ● SO ₂ ● NO ₂ ● CO ₂ ● zw. organiczne jako węgiel ogółem ● HCl ● HF ● metale ciężkie i ich związki jako metal – Pb + Cr + Cu + Mn – Ni + Ar – Cd + Hg	388 229 182 103 1,75 0,05 0,28 2,36 0,10 0,001	390 100 323 320 1,55 0,03 0,16 1,53 0,05 0,001
Emitor E 1 kotła : ERm 8	Emisja zanieczyszczeń, kg/h ● pył ● SO ₂ ● NO ₂ ● CO ₂ ● zw. organiczne jako węgiel ogółem ● HCl ● HF ● metale ciężkie i ich związki jako metal – Pb + Cr + Cu + Mn – Ni + Ar – Cd + Hg	4,00 3,36 2,67 1,51 0,02 0,0005 0,004 0,03 0,001 0,00001	4,09 1,56 5,05 4,99 0,01 0,0001 0,002 0,02 0,0006 0,00001

Mączki mięsne i mięsno-kostne jako paliwo alternatywne

W kontekście zagospodarowania mączek mięsnych i mięsno-kostnych jako paliwa alternatywnego do spalania w kotłach grzewczych wyposażonych w ruszt mechaniczny przystosowany do spalania węgla kamiennego, można stwierdzić, że pochodzący z termicznej obróbki tkanki zwierzęcej jako odpad „o kodzie 19 02 10 – odpady palne inne niż wymienione w 19 02 08 lub 19 02 09” może być dopuszczony do termicznego przekształcenia jako odpad palny zastosowany do współspalania z węglem kamiennym.

Współspalanie węgla kamiennego z mączką mięsno-kostną w procesie termicznego przekształcenia odpadów nie wymaga zastosowania specjalnych rozwiązań technicznych instalacji kotłowej. Mączka mięsno-kostna, na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji, współspalana może być również w instalacjach kotłowych z udziałem paliwa stałego (drewno, koks), płynnego (olej opałowy, gaz propan-butan, gaz ziemny GZ 50) lub biomasy, które w wyniku spalania nie spowodują przekroczenia poziomów emisji substancji zanieczyszczających odnoszących się do współspalania odpadów [5].

Proces spalania mączki mięsnej i mięsno-kostnej przebiega z wysoką sprawnością energetyczną z emisją zanieczyszczeń pyłowo-gazowych nie przekraczających dopuszczalnym standardy emisyjne. Kocioł parowy typu Erm 8, na którym przeprowadzono badania nie był poddany żadnym modyfikacjom. Po przeprowadzonych eksperymentach był używany do spalania węgla kamiennego.

Dodatek 10% wag. mączki mięsno-kostnej do węgla kamiennego spowodował:

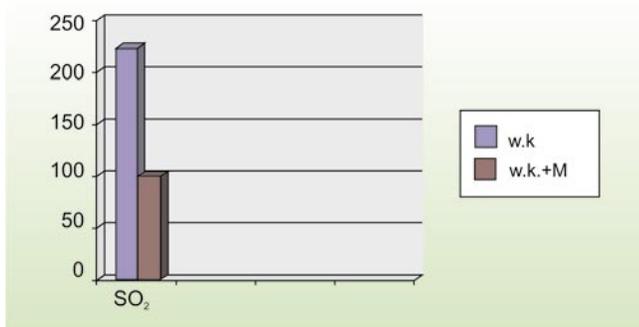
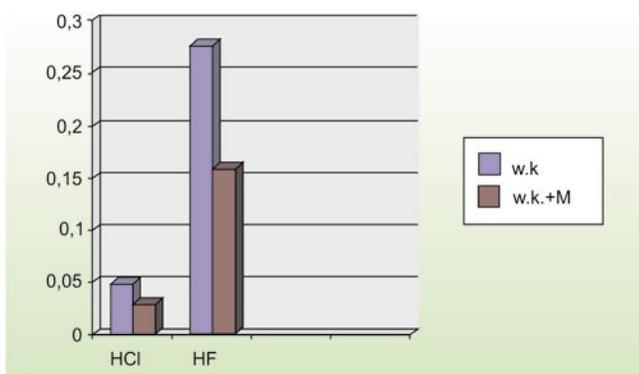
- zmniejszenie emisji SO₂; na rysunku 2 zamieszczono wykres emisji SO₂ w próbach spalania węgla kamiennego i współspalania z mączką mięsno-kostną;
- spadek emisji chlorowodoru i fluorowodoru; na rysunku 3 zamieszczono wykres emisji HCl oraz HF w próbach spalania węgla kamiennego i współspalania z mączką mięsno-kostną;
- zmniejszenie emisji metali ciężkich i ich związków jako metal: – Pb + Cr + Cu + Mn, – Ni + Ar, – Cd + Hg.

Tabela 5
Ilości wprowadzanych do powietrza substancji zanieczyszczających w mg/m³ w suchych gazach odlotowych w warunkach normalnych, przy zawartości 6% tlenu

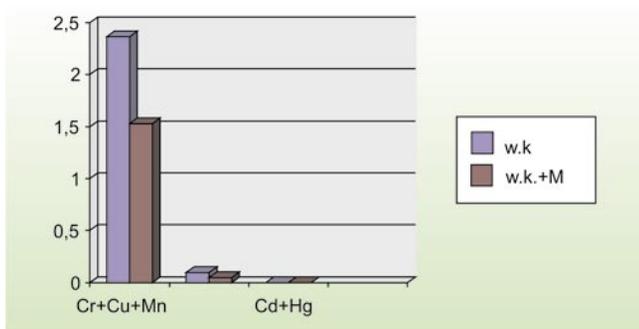
Źródło emisji	Wyszczególnienie	Węgiel kamienny	Mieszanka	Wartość dopuszczalna [7], mg/m ³
Emitor E 1 kotła : ERm 8	Stężenie zanieczyszczeń, mg/m_u³ ● pył ● SO ₂ ● NO ₂ ● CO ₂ ● zw. organiczne jako węgiel ogółem ● HCl ● HF ● metale ciężkie i ich związki jako metal – Pb + Cr + Cu + Mn – Ni + Ar – Cd + Hg	388 469 373 211 3,59 0,001 0,57 4,84 0,20 0,002	399 106 344 340 1,55 0,0001 0,17 1,63 0,05 0,001	400 1300 400 2500 20 100 4 5 1 0,2

Parametry pracy kotła

Wyszczególnienie	Seria pomiarowa		
	I	II	III
Wydajność cieplna nominalna, MW	5,54	5,02	5,28
Sprawność energetyczna, %	74	73	74
Parametry pary:			
• ciśnienie, MPa	0,40	0,39	0,38
• temperatura, °C	150	153	151
• zużycie węgla kamiennego, kg/h	1130	1100	1230
• zużycie mączki mięsno-kostnej, kg/h	150	120	122
• temperatura gazów spalinowych wewnątrz komory spalania, °C	980	999	992
• przepływ gazów spalinowych przez komorę, m ³ /h	13138	13342	13342


 Rys. 3. Wykres redukcji emisji SO₂


Rys. 4. Wykres emisji HCl i HF



Rys. 5. Wykres emisji metali ciężkich i ich związków jako metal

Na rysunku 4 zmieszczono wykres emisji w próbach spalania węgla kamiennego i współspalania z mączką mięsno-kostną.

Współspalanie węgla kamiennego i mączek mięsnych i mięsno-kostnych wymaga nadzoru weterynaryjnego.

Wnioski

Proces współspalania węgla kamiennego i mączek mięsnych i mięsno-kostnych nie wymaga jakichkolwiek zmian konstrukcyjnych oraz modyfikacji instalacji kotłowych oraz zmian konstrukcyjnych komór spalania kotłów grzewczych przystosowanych do spalania węgla kamiennego. Spalanie przebiega z dużą sprawnością energetyczną bez ponadnormatywnej emisji substancji do powietrza. Współspalanie węgla kamiennego i mączek mięsnych i mięsno-kostnych powoduje:

- ◆ silne wiązanie związków siarki z mączką mięsno-kostną, co spowoduje zmniejszenie emisji związków siarki do powietrza atmosferycznego,
- ◆ wysoką skuteczność spalania węgla dzięki dużej jednorodności kontaktu cząsteczek węgla, mączki mięsno-kostnej i tlenu,
- ◆ temperaturę spalania zbliżoną do temperatury wiązania związków siarki z wapniem zawartym w mączce mięsno-kostnej,
- ◆ dużą skuteczność odsiarczania spalin rzędu 34–60%, przy stosunku Ca/S od 1,7 do 2,0,
- ◆ zmniejszenie strat zużycia węgla na jednostkę mocy kotła.

Współspalanie mączki mięsno-kostnej z węglem kamiennym nie powoduje przekroczeń standardów emisyjnych powyżej dopuszczalnych wartości zawartych w Rozporządzeniu MŚ z dnia 04 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz.U.03.163.1584, zał. nr 7 [5].

LITERATURA

- [1] Kłopotek B.: Zagospodarowanie mączek pochodzenia zwierzęcego. *Przegląd Komunalny* 2004, nr 4
- [2] Organista W.: Zagadnienia surowców energetycznych w gospodarce krajowej – Polska samowystarczalna energetycznie, Krajowa Konferencja Energetyczna, Rydzyna 2002
- [3] Rozp. Ministra Gospodarki z dnia 21 marca 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 02. 37. 339
- [4] Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 22 grudnia 2003 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań dotyczących procesu termicznego przekształcenia odpadów, Dz. U. 03. 1. 2
- [5] Rozporządzenie MŚ z dnia 4 sierpnia 2003 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji, Dz. U. 03.163.1584

