



PROJEKT:

**„Innowacyjna usługa
zagospodarowania popiołu
powstającego w procesie spalania
odpadów komunalnych w celu
wdrożenia produkcji
wypełniacza.”**

Etap I

**Pobór próbek popiołów lotnych
i przygotowanie próbek do badań**

PROJEKT:

„Innowacyjna usługa zagospodarowania popiołu powstającego w procesie spalania odpadów komunalnych w celu wdrożenia produkcji wypełniacza

Etap I

**Pobór próbek popiołów lotnych
i przygotowanie próbek do badań”**

Na zlecenie Zakład Gospodarki Odpadami „Green” Sp. z o.o.

Spis treści

Etap I - Pobór próbek popiołów lotnych i przygotowanie próbek do badań

Wstęp	
Popiół denny.....	
Charakterystyki fizyczne popiołu dennego pochodzącego z różnych rodzajów morfologicznych .	
Popiół lotny	
Zadanie I - Pobór próbek popiołów lotnych	
Okres i częstotliwość pobrania próbek.....	
Miejsce pobrania próbek	
Sposób pobrania i zabezpieczenia próbek.....	
Osoby pobierające próbki.....	
Zadanie II - Przygotowanie próbek do badań	
Przygotowanie próbek popiołu lotnego do badań rozkładu ziarnowego i składu chemicznego.....	
Przygotowanie próbek popiołu dennego do badań rozkładu ziarnowego i składu chemicznego	

Wstęp

Głównym problemem zagospodarowania popiołów lotnych i popiołów dennych pochodzących ze spalarni odpadów opartych na kotłach rusztowych wyposażonych w różnego rodzaju konstrukcje rusztowe jest nadmierna zawartość części palnych. W skrajnych przypadkach zawartość części palnych w popiołach dennych dochodzi do 35% udziału masowego, a w popiołach lotnych do 20% udziału masowego. Takie ilości części palnych powodują, że popioły te stają się odpadami niebezpiecznymi, koniecznymi do składowania na specjalnych składowiskach, a proces termicznej utylizacji odpadów jest procesem który jedynie zmniejsza objętościowo i masowo ilość utylizowanych odpadów, a nie likwiduje ich.

Zawartość części palnych w popiołach emitowanych z kotłów obecnie pracujących spalarni odpadów komunalnych, znacznie przewyższa dopuszczalne, określone przez normy unijne i krajowe normy emisyjne, zarówno do atmosfery jak i do gleby.

Zawartość części palnych w popiele lotnym mierzonym w czopuchu kotła, jedynej w kraju spalarni odpadów komunalnych na Targówku w Warszawie przekracza znacznie 5% udziału



Rysunek 1: Aglomeraty żużlu pochodzące z kotła z rusztem schodkowym spalarni odpadów Targówek w Warszawie

masowego. W lejach zsypanych filtrów odpylających, popiół lotny zawierał 8÷15% udziału masowego części palnych w postaci koksiku. Jest to więc odpad, który należy składować, a nie wykorzystywać jako surowiec budowlany. Znacznie gorsza jest sytuacja z popiołem dennym, który może zawierać nawet 20÷35% części palnych, w postaci karbonizatu, zatopionego w roztopionym popiele, co przedstawiają fotografie elementów żużlu pobranego z leja zsypanyego kotła rusztowego spalarni na Targówku (rys. 1). Zawartość części palnych w popiele lotnym lub dennym w ilościach większych niż 5% jest głównym problemem przy próbach zagospodarowania popiołu ze spalarni odpadów komunalnych. Na obecnym etapie rozwoju technologii kotłów stosowanych w spalarniach odpadów komunalnych z różnego rodzaju rusztami popiół denny jest traktowany jako odpad, konieczny do składowania na składowiskach odpadów specjalnie do tego celu przystosowanych.

Popiół denny

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

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 wyjścia części lotnych jak i w fazie spalania karbonizatu.

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^T) i popiołu (A^T) w składnikach morfologicznych odpadów, należy zaznaczyć bardzo duży rozrzut szczególnie zawartości wilgoci (W^T). W dostarczonej próbie odpadów, zawartość wilgoci poszczególnych składników morfologicznych waha się od 0,68% do 28,45%.

Oznaczone zawartości popiołu (A^T) 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 i 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.

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 powoduje to oblepienie niespalonego paliwa przez roztopiony popiół 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 $A^r=25\div 35\%$. Oprócz dużej ilości popiołu, odpady kostne charakteryzują się popiołem o bardzo niskiej temperaturze spiekania, mięknięcia i topnienia.

Składnikiem paliwa który decyduje o czasie całkowitego wypalania danej substancji jest karbonizat (K^r), który pozostaje po odgazowaniu danej substancji. Ilość karbonizatu pozostałego po odgazowaniu oraz jego struktura fizykochemiczna (skład chemiczny i sposób ułożenia siatek krystalicznych węgla) decyduje o szybkości wypalania się danego składnika morfologicznego odpadów. Czas wypalania poszczególnych struktur morfologicznych wpływa na strukturę złoża wypalanych odpadów (o ile są one wypalone w złożu np. na ruszcie). Struktura złoża wpływa bowiem w zdecydowany sposób na powstałą stratę kominową (S_k) oraz stratę niecałkowitego spalania w żużlu (S_{nz}).

Pozostałość karbonizatu (K^r) po procesie odgazowania jest więc bardzo ważną cechą fizykochemiczną składników morfologicznych, które w bardzo istotny sposób wpływają na sprawność termiczną, oraz sprawność ekologiczną procesu termicznej utylizacji. Obniżenie sprawności termicznej wynika ze wzrostu straty kominowej (S_k) i straty niecałkowitego spalania (S_n), a pogorszenie sprawności ekologicznej wynika ze wzrostu zawartości koksiku (C) w popiele dennym.

Zawartość karbonizatu (K^r) jako pozostałości po odgazowaniu jest w bardzo znacznej mierze uzależniona od rodzaju morfologicznego odpadów. Najmniejszą ilość karbonizatu uzyskuje się w wyniku odgazowania substancji organicznych pochodzących z mięsnych odpadów zwierzęcych ($K^r= 3,85\%$) z makulatury ($K^r= 3,18\div 5,23\%$), oraz osadów ściekowych ($K^r= 3,57\%$). Najwyższe ilości karbonizatu powstają przy odgazowaniu odpadów pochodzących z PCV

($K^r= 27,48\%$), oraz z odpadów skórzanych ($K^r= 32,84\%$) i z odpadów gumowych ($K^r= 46,15\%$).

O szybkości wypalania karbonizatu, oraz o sposobie zachowania się spalanej substancji w istotny sposób decyduje ilość oraz skład elementarny substancji mineralnej z której po spalaniu 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 grupy litowców (Na, K) w bardzo istotny sposób obniżają temperatury fizyczne popiołu (spiekania, mięknięcia, topnienia i płynięcia). W przeciwieństwie do tych grup, pierwiastki grupy węglowców (Si), borowców (Al.) oraz żelazowców (Fe, Co, Ni), znacznie podnoszą charakterystyczne temperatury popiołu.

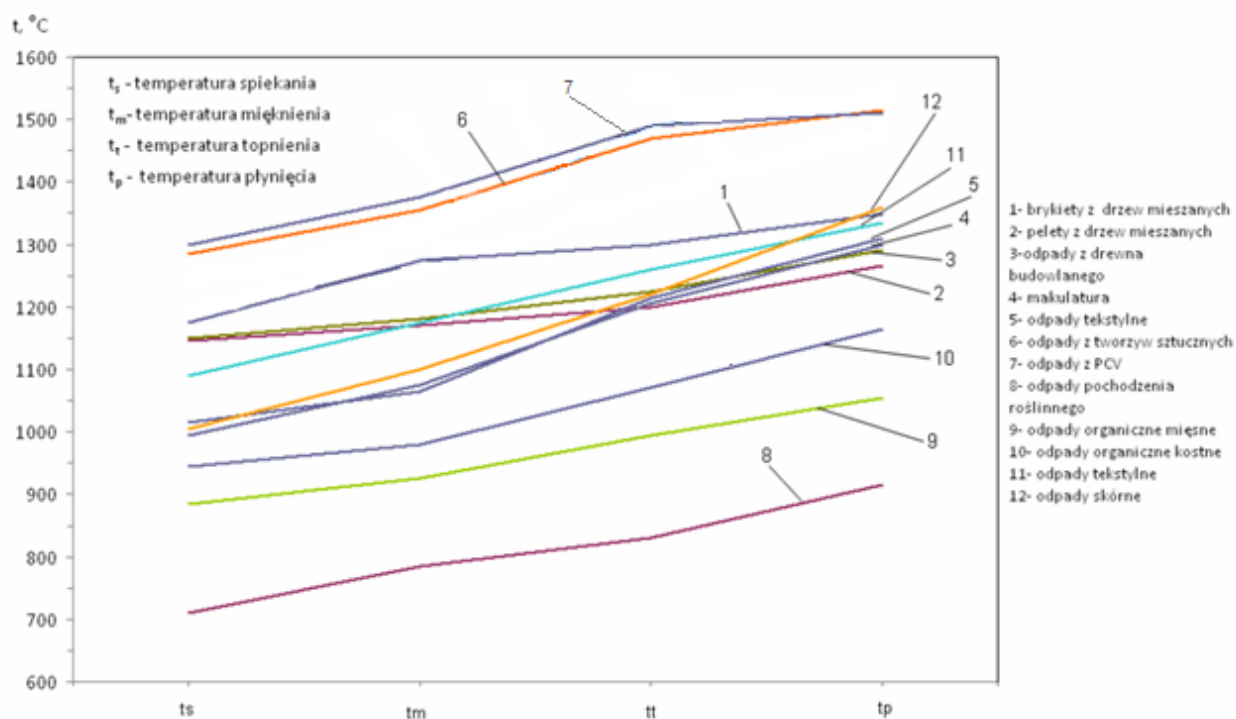
Z energetycznego punktu widzenia projektowanie instalacji do spalania odpadów komunalnych musi opierać się na bardzo wiarygodnych informacjach dotyczących zawartości wilgoci, popiołu, kaloryczności, składu elementarnego substancji organicznej i nieorganicznej, stopnia konwersji w gaz pirolityczny w trakcie odgazowania, własności fizycznych popiołu w wysokich temperaturach, właściwości kinetycznych gazów pirolitycznych i właściwości fizykochemicznych karbonizatów. Niektóre pierwiastki oddziałują niekorzystnie na powierzchnie ogrzewalne kotłów będąc sprawcami tzw. korozji chlorowej lub zanieczyszczających nadmiernie powierzchnie ogrzewalne poprzez tworzenie szklistych powłok powstałych w wyniku kondensacji par, np. Na, K itd. Pierwiastki grupy metali alkalicznych i grupy litowców obniżają znacznie temperaturę mięknięcia popiołu co prowadzi do zażużlowania komór spalania i niszczenia struktury złoża spalanego paliwa poprzez tworzenie się różnego rodzaju spieków. Spalanie odpadów w kotłach rusztowych z uwagi na skład chemiczny substancji organicznej i nieorganicznej przebiega odmienne od spalania stałych paliw konwencjonalnych.

Charakterystyki fizyczne popiołu dennego pochodzącego z różnych rodzajów morfologicznych

Zachowanie się substancji popiołu podczas procesu spalania (jakiegokolwiek gatunku paliwa stałego) określają charakterystyczne temperatury jakie przechodzi popiół w trakcie procesu spania. Niezależnie od metody wyznaczenia charakterystycznych temperatur oznaczenie sprowadza się do określenia:

- temperatury spiekania (t_s),
- temperatury mięknienia (t_m),
- temperatury topnienia (t_t),
- temperatura płynięcia (t_p).

Charakterystyczne temperatury popiołu niektórych struktur morfologicznych odpadów przedstawione zostały na rys. 2. Charakterystyczne temperatury zostały wyznaczone przy pomocy metody Bunte-Bauna.



Rysunek 2: Charakterystyczne temperatury popiołu

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 popiołów pochodzenia roślinnego wynosi około 710°C, odpadów mięsnych - 890°C, a odpadów kostnych - 950°C. Najwyższe temperatury mięknięcia popiołów są charakterystyczne dla odpadów pochodzących z tworzyw sztucznych, PCV i gumy. Temperatura mięknięcia popiołu w tym przypadku 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 reakcyjności.

Powstaje bowiem sytuacja gdy płynna substancja popiołu pochodzącego ze spalania odpadów kostnych zatapia niespalony karbonizat pochodzący np. z odpadów gumowych czy tekstylnych co przedstawiają zdjęcia na załączonych rysunkach. Oblepione płynnym popiołem ziarna karbonizatów są zatopione wewnątrz powłoki żużlowej. Proces spalania zostaje przerwany, a wewnątrz powstaje niedopał w postaci niespalonego karbonizatu, co bardzo dokładnie obrazują zdjęcia fragmentu żużlu pobranego spod rusztu kotła rusztowego spalarni odpadów w Warszawie. Przedstawiona na rys. 3. dokumentacja zdjęciowa jest charakterystycznym przykładem 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 żużlu oraz wzrostu straty kominowej spowodowanej niekontrolowanym przepływem „fałszywego” powietrza przez te fragmenty rusztu w których nastąpiło wcześniejsze wypalenie najbardziej reakcyjnych odmian morfologicznych odpadów.



Rysunek 3: Niedopał powstały w żużlu

Grupa odpadów pochodzących z makulatury, drewna budowlanego, odpadów tekstylnych, odpadów zwierzęcych spala się dwukrotnie wolniej od peletów i brykietów pochodzenia roślinnego lecz znacznie krócej od odpadów pochodzących ze skóry, PCV i gumy. Jest to szczególnie widoczne w przypadku ustalonego rozdrobnienia odpadów.

W zakresie określonego rozdrobnienia, całkowity lecz inny czas wypalania (τ_c) identycznych masowo, lecz niekiedy różniących się geometrycznie, różnych struktur

morfologicznych odpadów powoduje dezorganizację procesu spalania warstwy wsadu na ruszcie niezależnie od jego typu. Jednorodna początkowa warstwa paliwa na ruszcie posiadająca jednakowy opór hydrauliczny dla przepływającego przez dane strefy powietrza, staje się z powodu różnych szybkości wypalania poszczególnych gatunków morfologicznych, warstwą „dziurawą” o strukturze „sera szwajcarskiego”.

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 (rys. 4).

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.

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 reakcyjności 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 reakcyjnością i najdłuższym czasem spalania.

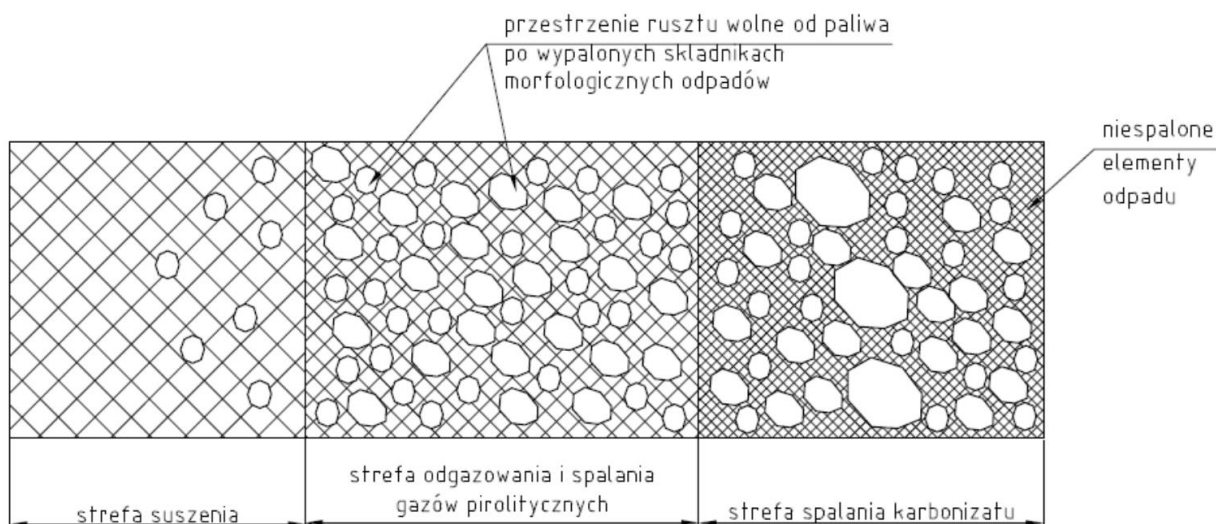
W zależności od składu morfologicznego strata ta może być na tyle znaczna, że obniży sprawność termiczną układu kotłowego nawet o kilkanaście procent. Strata ta stwarza kłopot w postaci żużlu, który staje się odpadem koniecznym do składowania lub do dalszej utylizacji, ponieważ będzie zawierał powyżej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

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 reakcyjności.

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 żużlowej. Proces spalania zostaje przerwany, a wewnątrz powstaje niedopał w postaci niespalonego karbonizatu, co bardzo dokładnie obrazują zdjęcia fragmentu żużlu pobranego spod rusztu kotła rusztowego spalarni odpadów w Warszawie (rys. 3).

Przedstawiona dokumentacja zdjęciowa (rys. 1, 3, 5) jest charakterystycznym przykładem spalania odpadów komunalnych, składających się z różnych gatunków morfologicznych, różniących się zarówno substancją organiczną jak i substancją mineralną. Również pomiędzy poszczególnymi strukturami morfologicznymi występują praktycznie różnice we wszystkich charakterystykach mających wpływ na proces spalania. Różnice te, co pokazały zamieszczone zdjęcia 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 żużlu oraz wzrostu straty kominowej spowodowanej niekontrolowanym przepływem „fałszywego” powietrza przez te fragmenty rusztu, w których nastąpiło wcześniejsze wypalenie najbardziej reakcyjnych odmian morfologicznych odpadów (rys. 4).



Rysunek 4: Dezorganizacja struktury warstwy spalających się odpadów

Proces spalania mieszaniny odpadów komunalnych w kotłach rusztowych jest procesem niecałkowitym i zawsze prowadzi do niecałkowitego spalania i obecności niespalonych części (paliwa) odpadów w żużlu z reguły znacznie przekraczających dopuszczalną ilość 5% udziału



Rysunek 5: Aglomeraty żużlu pochodzące ze spalania odpadów komunalnych

masowego żużlu. Powstaje w ten sposób odpad, który musi być składowany na specjalnych składowiskach lub musi być przeznaczony do dalszej utylizacji. Wielkość niedopału w dużej mierze jest zależna od składu morfologicznego odpadów i może dochodzić nawet do 35%.

Popiół lotny

Sposób odzysku koksiku z lotnego popiołu w kotłach rusztowych spalarni odpadów polega na tym, że transportowany układem odpopielania kotła lotny popiół kieruje się do wibracyjnego przesiewacza sitowego wyposażonego w zestaw pięciu sit o wymiarze oczka najdrobniejszego sita wynoszącym $500\mu\text{m}$ i pozostałych sit o rozmiarach oczka wynoszących $1000\mu\text{m}$, $2000\mu\text{m}$, $3000\mu\text{m}$, $5000\mu\text{m}$. Stopniowe oddzielanie koksiku o wymiarach większych od $5000\mu\text{m}$, a następnie w dalszej kolejności o wymiarach $3000\mu\text{m}$, $2000\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$ i $500\mu\text{m}$ nie stwarza czynników hamujących oddzielenia popiołu wówczas, gdy warstwa nadawy ma odpowiednią grubość. Wynika to z faktu, iż ziarna koksiku o bardzo rozwiniętej powierzchni zewnętrznej powodują zlepienie i aglomerację ziaren zarówno koksiku jak i substancji mineralnej popiołu. Ruch wibracyjny posuwisto-zwrotny sit wibracyjnych przesiewacza sitowego ma za zadanie rozluźnienie i rozbitcie posklejanych i zaglomerowanych cząstek popiołu i koksiku, a przez to ma poprawić swobodny przepływ przez sita ziaren popiołu. Oddzielony w wibracyjnym przesiewaczu sitowym koksik kierowany jest do układu odbioru odseparowanego koksiku w postaci przyłączonego do wibracyjnego przesiewacza sitowego i wyposażonego w dozownik celkowy kanału spustowego połączonego ze zbiornikiem magazynowym koksiku. Oczyszczony w wibracyjnym przesiewaczu sitowym z koksiku popiół kanałem spustowym przy pomocy dozownika celkowego grawitacyjnie lub przy udziale sprężonego powietrza, transportowany jest na składowisko popiołu. Podziarno (poniżej $500\mu\text{m}$) składające się z lotnego popiołu oraz z niewielkiej ilości najdrobniejszych frakcji ziaren koksiku odprowadzane jest z wielopokładowego przesiewacza wibracyjnego przenośnikiem ślimakowym bezpośrednio do kanału odpopielania. Odseparowany od popiołu koksik kierowany jest do układu nawęglania, gdzie może być ponownie wykorzystany jako paliwo, a oczyszczony z części palnych popiół, zawierający poniżej 3,5% części palnych, jako pełnowartościowy surowiec budowlany transportowany jest na składowisko popiołu celem późniejszego wykorzystania jako dodatek do kruszywa sztucznego.

Badania rozkładu ziarnowego lotnego popiołu wykazały, że współspalanie odpadów komunalnych powoduje wyraźny rozdział ziarnowy pomiędzy lotnym popiołem a lotnym koksikiem. Fakt ten stwarza możliwość odseparowania lotnego koksiku od lotnego popiołu. Granica rozdziału ziarnowego koksiku i popiołu jest wyraźnie zależna od rodzaju spalanych odpadów oraz od technologii spalania. Rozfrakcjonowanie popiołu lotnego, pochodzącego z kilku lejów zsypanych wykazało, że począwszy od określonego zakresu średnic oczek sit, zasadniczą masę przesiewu stanowią ziarna popiołu. Graniczna wielkość oczek sita, poniżej której masę dochodzącą do 98% stanowi popiół, jest zależna od rodzaju spalanych odpadów i technologii spalania. Graniczna wielkość oczek poniżej której główną masę przesiewu stanowi popiół, zmienia się od 400 do 800 μm . Ziarna większe od powyższych średnic stanowią wyłącznie ziarna koksiku.

Maksymalny udział popiołu lotnego przypada na ziarna o rozmiarach w zakresie średnic 30÷180 μm . Wymiar średnic ziaren o maksymalnym udziale masowym jest zależny od rodzaju spalanych odpadów i technologii odsiarczania spalin. Maksymalny udział masowy ziaren lotnego popiołu w przypadku spalania odpadów komunalnych przypada na ziarna o średnicy 150÷180 μm , a w przypadku spalania odpadów rolniczych przypada na ziarna o średnicy 80÷150 μm . Strukturę rozkładu ziarnowego zmienia w dość istotny sposób technologia odsiarczania spalin. Dotyczy to zarówno spalania odpadów komunalnych jak i odpadów rolno-spożywczych.

Technologia suchego odsiarczania spalin powoduje wzrost średnic ziaren lotnego popiołu o maksymalnym udziale masowym. W przypadku spalania odpadów komunalnych zakres średnic ziaren lotnego popiołu o maksymalnej masie zawiera się w przedziale 70÷150 μm , a dla spalania odpadów „agro” zawiera się w przedziale 150÷300 μm . Udział masowy ziaren lotnego popiołu o średnicach większych od 300 μm maleje do zera. Ziarna koksiku pozostałe w strumieniu wylotowym z przesiewacza wibracyjnego w niewielkim stopniu zależą od rodzaju spalanych odpadów i od technologii odsiarczania. W odseparowanym popiele, ziarna koksiku pojawiają się o wymiarach mniejszych od 300 μm . Maksymalny udział masowy koksiku w oczyszczonym popiele przypada na ziarna o średnicy 150÷300 μm i wynosi nie więcej jak 0,8% udziału masowego

oczyszczonego z części palnych popiołu. Skuteczność oczyszczania lotnego popiołu z lotnego koksiku jest porównywalna zarówno dla odpadów komunalnych o różnym składzie morfologicznym jak i spalania odpadów rolniczych, spożywczych i zwierzęcych w kotłach fluidalnych ze stacjonarnym złożem pęcherzykowym jak i cyrkulacyjną warstwą fluidalną.

Skuteczność obniżania zawartości lotnego koksiku w lotnym popiele w odniesieniu do pierwotnej zawartości koksiku w strumieniu nadawy w zależności od typu kotła i technologii spalania wynosi od 5 do 10%, a sprawność odzysku koksiku w odniesieniu do początkowej zawartości koksiku w lotnym popiele wynosi od 75 do 95%. Pozostały w lotnym popiele koksik stanowi udział masowy w zakresie od 0,6 do 1,8%.

Zadanie I

Pobór próbek popiołów lotnych

Okres i częstotliwość pobrania próbek

Próbki pobrano w okresie od 13.05.2015r.do 20.05.2015r.

Próbki pobierano dwa razy dziennie o godz.10⁰⁰ i o godz. 17⁰⁰.

Miejsce pobrania próbek

Próbki popiołu lotnego i popiołu dennego pobrane zostały z leja zsypowego czopucha i leja żuźlowego kotła z rusztem schodkowym do utylizacji odpadów w Zakładzie Unieszkodliwiania Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie ul. Gwarków 9.

Sposób pobrania i zabezpieczenia próbek

Próbki pobierano szuflą z miejsca zsypu popiołu. Każdorazowo pobierano około 40 kg popiołu. Po pobraniu, próbkę kilkakrotnie mieszano. Po wymieszaniu formowano pryzmę, którą dzielono na cztery równe części. Droga losową wybierano jedną część, jako próbkę reprezentatywną. Próbkę reprezentatywną wykonano zgodnie z PN węglową. Każdą próbkę oznaczono symbolem określającym dzień i godzinę pobrania. Próbkę popiołu lotnego i popiołu dennego wraz z informacją merytoryczną umieszczono w workach polietylenowych szczelnie zamkniętych. Oznakowane worki z próbkami przetransportowano do siedziby ZBUS Combustion, gdzie zostały poddane programowym badaniom.

Osoby pobierające próbki

Próbki zostały pobrane przez pracownika Zakładu Budowy Urządzeń Spalających „ZBUS Combustion” Sp. z o.o. w Głownie pod nadzorem dr inż. Henryka Karcza.

Zadanie II - Przygotowanie próbek do badań

Przygotowanie próbek popiołu lotnego do badań rozkładu ziarnowego i składu chemicznego

Z każdej próbki lotnego popiołu pobrano 1 kg mieszaniny popiołu i koksiku, który został przeznaczony do określenia rozkładu ziarnowego oraz 2 kg do określenia składu chemicznego lotnego koksiku i lotnego popiołu. Próbki do badań składu ziarnowego i chemicznego zostały dostarczone w stanie pierwotnej granulacji.

Zawartość lotnego koksiku w lotnym popiele, w zależności od rodzaju spalanych odpadów i sposobu eksploatacji kotła, zawiera się przeważnie w granicach od 4 do 10% udziału masowego. Ziarenka koksiku występują tu w postaci oddzielnych struktur geometrycznych o rozmiarach od 30 do 2500 μm . Kształt geometryczny ziarenek lotnego koksiku zmienia się od kształtu kulistego do kształtu płytek. Ziarna koksiku odbiegające od kształtu kulistego posiadają z reguły płaski kształt płytek o mocno rozwiniętej zewnętrznej powierzchni w postaci odstających kłaczków. Duże ziarna lotnego koksiku posiadają dużą wyporność hydrodynamiczną i łatwo unoszą się w strumieniu spalin. Ziarna lotnego popiołu mają znacznie mniejsze rozmiary i w przeważającym stopniu kształt zbliżony do kuli. Ziarna popiołu lotnego mają znacznie mniejszą siłę wyporu i dlatego ich wymiary geometryczne są mniejsze. Odzysk lotnego koksiku od lotnego popiołu jest nieco łatwiejszy do zrealizowania niż w przypadku popiołu dennego. Wynika to z przesłanek wymiarowych lotnego koksiku i lotnego popiołu. Zasadnicza masa popiołu lotnego przypada na ziarna znacznie mniejsze niż ziarna lotnego koksiku. Z tego powodu jest je łatwiej oddzielić od ziaren lotnego popiołu.

Przygotowanie próbek popiołu dennego do badań rozkładu ziarnowego i składu chemicznego

Przygotowanie próbek popiołu dennego do badania struktury ziarnowej koksiku i żużlu oraz badania chemicznego w sposób zdecydowany odbiega od przygotowania próbek popiołu lotnego. Popiół denny, jak pokazują fotografie na rys.1, 3 i 5 tworzy aglomeraty żużlowe, składające się

z zasklepionych wewnątrz roztopionej substancji popiołu, pojedynczych ziaren, co wynika z natury procesu. Koksik przed badaniami musi być oddzielony od popiołu dennego czyli od żużłu.

Niskie temperatury topliwości popiołu jednych odmian alotropowych i długie czasy wypalania karbonizatów, powodują powstanie na ruszcie sytuacji, gdy płynna substancja popiołu pochodząca z odpadów roślinnych lub zwierzęcych zalepia niespalony karbonizat pochodzący np. z odpadów gumowych lub tworzyw sztucznych. Proces spalania zostaje przerwany, a wewnątrz powstaje niedopał w postaci niespalonego karbonizatu. Oblepiony płynnym popiołem karbonizat zostaje zatopiony wewnątrz powłoki żużlowej.

Różnorodność przebiegających zjawisk podczas spalania poszczególnych struktur morfologicznych oraz ich przesunięcia czasowe powodują nakładanie się niekorzystnych zjawisk, które prowadzą do powstania wysokiej zawartości części palnych w żużlu. Analiza przebiegających na ruszcie zjawisk podczas procesu spalania odpadów komunalnych, wykazała że równoczesne przemiany termiczne substancji dwóch lub większej ilości odmian morfologicznych odpadów o odmiennych charakterystykach fizykochemicznych i kinetycznych mogą powodować trudne do przewidzenia skutki, przeważnie o charakterze negatywnym. Negatywnym skutkiem takiego procesu spalania odpadów komunalnych na ruszcie jest zatopienie substancji palnej odpadów przez roztopioną substancję mineralną popiołu. Wynika to z faktu, że przemianę termiczną w bliskim sąsiedztwie przechodzi np. jednocześnie odpad gumowy i odpad kostny. Jeżeli ziarno karbonizatu pochodzące z gumy znajdzie się w pobliżu płynnej fazy popiołu pochodzącej z kości, wówczas zostanie zatopione wewnątrz powłoki żużłu. Proces spalania karbonizatu zostaje przerwany i powstaje niedopał w postaci karbonizatu, składającego się w znacznej mierze z pierwiastka C. Powstały w kotle rusztowym popiół denny zawiera wewnątrz ziaren żużłu znaczne ilości koksu, które stanowią części palne, znacznie przekraczające dopuszczalną wartość 5%. Części palne w popiele dennym z reguły nie występują jako oddzielne ziarna koksiku, lecz są zatopione wewnątrz powłoki żużlowej. Struktura fizyczna koksu zatopionego w aglomeratach żużlowych znacznie różni się od struktury popiołu. Koks posiada mniejszą twardość, większą łamliwość i dość

łatwo oddziela się od struktur popiołowych podczas procesu rozdrabniania. Oddzielony koksik prawie w 100% złożony jest z pierwiastka C. Inne pierwiastki takie jak S, N, O, H zostały wydzielone z karbonizatu w fazie spalania i w fazie zalewania przez płynny popiół. O procesie wydzielania gazów pirolitycznych po zatopieniu koksiku w popiele, świadczy porowata struktura żużlu wokół ziaren koksiku (zdjęcie na rys.1 i 5). Im stopień rozdrobnienia aglomeratów żużlowych jest większy tym więcej koksiku jest oddzielonego od struktur żużlowych. Koksik występuje wówczas w mieszance z popiołem w postaci oddzielnych struktur geometrycznych. Proces rozdrobnienia popiołu dennego pochodzącego ze spalarni z pieców przemysłowych z kotłami rusztowymi jest jedynym sposobem prowadzącym do oczyszczenia popiołu z części palnych i otrzymania materiału budowlanego nie będącego odpadem koniecznym do składowania.

Sposób odzysku koksiku z popiołów paleniskowych kotła rusztowego do utylizacji odpadów komunalnych, rolniczych, zwierzęcych, przemysłowych, osadów i paliw kopalnych w których koksik znajduje się wewnątrz aglomeratów żużlowych znamienny jest tym że żużel z zalanymi wewnątrz ziarnami karbonizatu podaje się do kruszarki, która kruszy żużel do ziaren o rozmiarach mniejszych od 5 mm. Korzystnie jest aby ziarna żużlu i karbonizatu miały rozmiary mniejsze od 2 mm. Z uwagi na różną twardość, różną łamliwość, żużel oddziela się od ziaren karbonizatu. Przy rozdrobnieniu poniżej 2 mm, pozostałość karbonizatu w ziarnach żużlu jest mniejsza od 3% udziału masowego. Im większy jest stopień rozdrobnienia, tym mniejszy procent substancji węglowej, znajdującej się w ziarnach żużlu.

Mieszanina ziaren żużlu i karbonizatu podawana jest na zestaw sit wibracyjnych o oczkach mniejszych od 5 mm w których następuje rozfrakcjonowanie ziaren żużlu i karbonizatu. Z uwagi na większą łamliwość i kruchość żużlu średnica ziaren żużlu jest znacznie mniejsza od średnicy ziaren popiołu. Ziarna zmielonego popiołu mają kształt bardziej regularny, zbliżony do kształtu kulistego, a ziarna karbonizatu, kształt mają nieregularny zbliżony do płytek o bardzo rozwiniętej strukturze kłaczkowatej. Ze względu na powyższe cechy fizyczne rozdrobnionych składników popiołu dennego zdecydowana większość masowa (60-80%) żużlu, przypada na ziarna popiołu

o rozmiarach mniejszych od 500 μm . Frakcje ziarnowe popiołu o rozmiarach większych od 500 μm występują w rozdrobnionym żużlu w ilości nie większej jak 10% udziału masowego. Rozkład ziarnowy koksiku i popiołu dennego pozwala określić udział poszczególnych frakcji ziarnowych.

Analiza chemiczna pozwoli określić przydatność popiołu do celów budowlanych i do celów chemicznych, a koksik do celów energetycznych lub chemicznych.

Kruszarka żużlu wyposażona jest w zestaw sit o wymiarze oczek sita 3000 μm . Sita dają możliwość oddzielenia podziarna o wymiarach mniejszych od 3000 μm od nadziarna powyżej 3000 μm . Podziarno o wymiarach poniżej 3000 μm składające się z ziaren popiołu i karbonizatu kierowane jest do przesiewacza o stopniowanym wymiarze oczek sit, o średnicy 3000, 2000, 1000, 800, 700, 600, 400, 300, 200, 100 i 50 μm . Ziarna żużlu i karbonizatu mają strukturę geometryczną o postrzępionych ściankach i licznych kłaczkach, które częściowo blokują przepływ ziaren przez sita wibracyjne, które powinny mieć większą amplitudę drgań, niż w przypadku ziaren o kształcie zbliżonym do kulistego i gładkich ściankach. W przypadku ziaren popiołu lotnego, ziarna popiołu mają strukturę bardziej regularną o kształcie kulistym i gładkiej powierzchni która umożliwia łatwiejsze przechodzenie ziaren popiołu lotnego przez oczka sita. Powierzchnia sita nie blokuje się przez zaklejone ziarnami oczka.

Sumaryczna ilość rozdrobnionego popiołu dennego składającego się z ziaren karbonizatu i żużlu, została przygotowana dla każdej pobranej próby w ilości 2 kg. Rozdrobniony w kruszarce i rozdzielony na sicie na podziarno o rozmiarach poniżej 3 mm, popiół denny o masie 1 kg został przeznaczony do badania rozkładu ziarnowego. Pozostały, rozkruszony żużel przesiany został na sicie o rozmiarze oczek 2 mm. Uzyskany popiół denny jako podziarno, w ilości 1 kg przeznaczony został do badania składu chemicznego żużlu i karbonizatu.