



Zastosowanie metod plazmowych do oczyszczania gazu procesowego ze zgazowania biomasy

Pikoń K.¹, Czekańska Z.¹, Stelmach S.², Ścierański W.¹

¹ Katedra technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 18, Gliwice, tel. +48-32-237-12-13, e-mail: krzysztof.pikon@polsl.pl

² Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze
telefon: +48 32 271 00 41, fax: +48 32 271 08 09, e-mail: office@ichpw.zabrze.pl

Streszczenie

Gazyfikacja jest wykorzystywana jako metoda przekształcania biomasy w paliwo gazowe. Jedną z niedogodności związaną z tą technologią jest obecność niepożądanych substancji, które czynią uzyskany w ten sposób gaz trudnym do wykorzystania. Do grupy substancji tego typu należą ciężkie węglowodory. W artykule przedstawiono zagadnienia związane z możliwością ich usuwania z gazu syntezowego przy użyciu reaktorów plazmowych. Oprócz ogólnych zasad związanych z tym zagadnieniem, zamieszczono również informacje natury technicznej, jak również rezultaty eksperymentów laboratoryjnych na przykładzie zmiany składu gazu z uwzględnieniem lotnych związków organicznych.

Abstract

Plasma technologies for purification of product gases from biomass gasification

Gasification is a popular method of conversion of biomass into gas fuel. One of the disadvantages of technologies of that type is presence of various ingredients which make gained gas difficult to use. One of them is tar. The paper is focused on analysis of possibilities of tar removal from gained gas using plasma methods. The general concept was described as well as construction of the reactors used. The examples of change of gas composition before and after reactor (including VOC) during lab tests are quoted in the paper.

1. Wprowadzenie

Zgazowanie jest jedną z kluczowych technologii termicznego przekształcania materiałów pierwotnych w paliwa gazowe i ciekłe. Pomimo niskiej sprawności tego procesu – ma on tę zaletę, że w jej wyniku wytwarzane jest wysokoenergetyczne paliwo. Substancje smoliste powstające również w procesie zgazowania są niepożądaną substancją zwykle określaną jako złożona mieszanina skondensowanych węglowodorów, która zawiera jedno- i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, połączone z innymi zawierającymi tlen węglowodorami, które łatwo kondensują w warunkach otoczenia. Skondensowane

substancje smoliste osiadają na przewodach gazowych mogąc wywołać zablokowanie i korozję sprzętu położonego na drodze strumienia przepływającego gazu. Wspomniany problem wymaga częstych remontów sprzętu i zmniejsza niezawodność instalacji. Bez właściwego procesu oczyszczania gazów procesowych, wzrastają koszty inwestycyjne przeznaczane na dublowanie urządzeń usytuowanych na drodze strumienia gazu w celu zapewnienia ciągłości pracy instalacji.

Istnieje 5 klas substancji smolistych [13]: (1) niewykrywalne, (2) heterocykliczne, (3) lekkie aromatyczne węglowodory, (4) lekkie wielopierścieniowe węglowodory i (5) ciężkie wielopierścieniowe węglowodory. Wyłączając lekkie węglowodory aromatyczne, wszystkie pozostałe są uciążliwe, ze względu na zdolność kondensacji w temperaturze otoczenia.

Substancje smoliste formują się w procesie depolimeryzacji złożonych cząstek takich jak: celulozy, hemicelulozy i ligniny pochodzących z biomasy (drewna, papieru) lub w przypadku stosowania paliw z odpadów (np. RDF) z tworzyw sztucznych w nich zawartych [15]. Na początku procesu zgazowania powstające smoły zawierają głównie cząsteczki zawierające w swoim składzie atomy tlenu. Te cząsteczki stosunkowo szybko konwertują w kolejne, a w konsekwencji pod wpływem temperatury w bardzo stabilne trzeciorzędowe związki smoliste. Trzeciorzędowe związki smoliste składają się głównie z wielopierścieniowych węglowodorów. Dlatego termin „substancje smoliste” oznacza złożoną mieszaninę tysięcy cząsteczek organicznych produkowanych w termochemicznym procesie konwersji biomasy. Ogólna definicja substancji smolistych mówi o: wszystkich składnikach organicznych posiadających masę cząsteczkową większą niż benzen.

Zastosowanie gazu z procesu zgazowania biomasy lub odpadów np. w turbinach gazowych lub silnikach gazowych wymaga dodatkowego oczyszczania gazów. Turbiny gazowe są szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenia w gazie, ponieważ osadzenie się zanieczyszczeń na łopatkach turbiny, przy bardzo dużej szybkości obrotowej może powodować uszkodzenie łożysk i całej turbiny. Również silniki spalinowe mają ostre wymagania dotyczące czystości gazu. Dotychczas stosowane technologie zmierzają do poprawy procesu zgazowania przez przekształcenie poprocesowych substancji smolistych w paliwo gazowe, jak również minimalizacji kondensujących substancji smolistych.

Jednym z nowoczesnych sposobów zmniejszenia ilości substancji smolistych jest ich dopalenie w reaktorze przed skierowaniem do właściwej komory spalania np. turbiny gazowej lub silnika spalinowego. Dopalenie takie jest możliwe m.in. przez wykorzystanie plazmy niskotemperaturowej jako inicjatora reakcji rozkładu i utlenienia związków organicznych zawartych w gazie.

2. Konwencjonalne metody konwersji substancji smolistych w gaz

Jedną z metod przekształcania substancji smolistych w gaz jest termiczny rozkład w wysokiej temperaturze i w długim czasie przebywania. Rozkład termiczny może zminimalizować ilość substancji smolistych i przyczynić się do produkcji gazu. Chociaż wysoka temperatura i wzrost ilości składników reformingu mogą obniżyć koncentrację substancji smolistych do wymaganej, to wartość opałowa i wydajność zimnego gazu znacząco się obniża [8].

Do zoptymalizowania systemu z maksymalną wydajnością zimnego gazu pozostałe substancje smoliste powinny być usunięte za pomocą dodatkowego urządzenia. Stosuje się np. złoża adsorpcyjne ze stałym wypełnieniem w celu zabezpieczenia sprzętu na drodze przepływu gazu przed uszkodzeniem pozostałymi po procesie substancjami smolistymi. Zadaniem instalacji do adsorpcji w warstwie stałej jest usunięcie trudnotopliwych substancji smolistych w drugim etapie procesu w celu wychwycenia pozostałych substancji smolistych. Do adsorpcji w stałym złożu można zastosować przykładowo trzy rodzaje adsorbentów: węgiel aktywny, wióry drewniane i syntetyczny porowaty granulat. Węgiel aktywny jest najszersze stosowanym adsorbentem, ze względu na wysoką pojemność adsorpcji zwłaszcza lotnych związków organicznych, które są składnikami substancji smolistych biomasy. Trociny są stosunkowo tanie, a granulatu syntetyczny można poddać regeneracji.

Metoda opatentowana jako technologia OLGA [15] służy do usuwania smół powstałych w procesie zgazowania paliwa z odpadów typu RDF. Urządzenie wykazuje zdolność usuwania fenolu i naftalenu ze skutecznością 99%. Aparat działający w przeciwprądzie składa się z dwóch kolumn podzielonych na sekcje. W pierwszej kolumnie tzw. kolektorze olejowym gaz jest schładzany, a ciekłe smoły wylapywane i zawracane do gazyfikatora. W drugiej części urządzenia składającej się z absorbera smoły lekkie gazowe są wmywane cieczą adsorpcyjną, a następnie odparowywane (w sekcji desorpcyjnej) i również zawracane wraz z podgrzanym powietrzem do procesu gazyfikacji. Stosunkowo duża zawartość w paliwie RDF tworzyw sztucznych typu (EPS) pianka polistyrenowa powoduje jednak znaczne utrudnienia w pracy pierwszej kolumny tzw. kolektora blokując przepływ gazu.

3. Plazma niskotemperaturowa

3.1. Wykorzystanie plazmy niskotemperaturowej do usuwania substancji smolistych z gazu

Techniki oparte na plazmie niskotemperaturowej znajdują coraz częściej zastosowanie w efektywnym usuwaniu zanieczyszczeń z gazów zwłaszcza związków organicznych VOC. W plazmie niskotemperaturowej temperatura elektronów ($T_e > 1$ eV) jest znacznie wyższa od temperatury średniej gazu ($T_g < 0.1$ eV). W związku z tym zastosowanie plazmy do oczyszczania gazów może sprowadzać się wprost do oddziaływania elektronów, jonów, cząsteczek wzbudzonych, tworzenia aerozoli i reakcji przebiegających na ich powierzchni. W różnych typach metod plazmowych stosowane są różne parametry pracy reaktorów i uzyskiwane są różne skuteczności procesu (tabela 3.1).

Zastosowanie plazmy nietermicznej do usuwania węglowodorów z gazów jest bardziej ekonomiczne niż adsorpcja na węglu aktywnym, spalanie katalityczne lub dopalanie w reaktorze wysokotemperaturowym, jednak szczególnie wydajne jest połączenie reaktora plazmowego z filtrem zeolitowym lub węglowym. Taki hybrydowy system pozwala na uzyskanie skuteczności ok. 98% w przypadku usuwania toluenu, a ponadto destrukcji niepożądanych produktów ubocznych [9]. Równie interesująco wygląda łączenie technologii plazmowej z katalizatorem.

Wykorzystanie reaktora plazmowego koronowego do rozkładu smół zawartych w gazie przedstawiono w pracy [11]. Badania eksperymentalne pokazują rozkład smół w wyładowaniu pulsacyjnym koronowym. Smoły reprezentowano w badaniach za pomocą naftalenu, fenolu i toluenu, które rozpylano w czystym azocie lub w mieszance paliwowej o składzie (20 % CO, 12% CO₂%, 17 % H₂, 1 % CH₄). Pozostałość frakcji smolistej wyrażana jest w funkcji gęstości energii J/l (gdzie l oznacza pojedyncze wyładowanie pulsacyjne). Badania w skali pilotażowej z gazyfikatorem, w którym zgazowywano drewno prowadzono analizując skład smół lekkich i ciężkich. W rezultacie uzyskano konwersję smół ciężkich do związków prostych i smół lekkich. Skuteczność usuwania smół ciężkich wyniosła 62% (dla gęstości energii 148 J/l) i 68 % (dla gęstości energii 161 J/l), przy czym nastąpił wzrost smół lekkich. Całkowita konwersja smół (ciężkich i lekkich razem) była na poziomie odpowiednio 39 % i 27%.

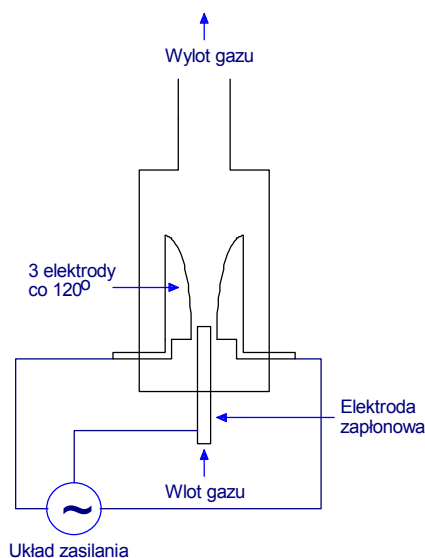
Tabela 3.1 Charakterystyka metod plazmowych [9].

Nr	Rodzaj wyładowania	Napięcie, V	Natężenie prądu, A	Częstotliwość, Hz	Skuteczność, %	Przepływ gazu, m ³ /h
1	Elektron Beam	105-2x108	10-3-10(dc)	<100 (dc)	80-95	103-105
2	Barierowe	5x103-2x104	10-3-10	10-105	30-80	10-2-1
3	Pulsacyjne koronowe	3x104-2x105	10-2-1	10-1000	20-70	1-102
4	Koronowe ze stabilizowanym przepływem gazu	104-105	10-5-10-1	(dc)	90-95	1-102
5	Łukowe	100-500	10-100	(dc)	70-90	10-1-10
6	Wysokich częstotliwości	100-500	10-3-1	103-105	50-70	10-2-10
7	Mikrofalowe	100-500	10-3-1	>109	30-60	10-2-1

3.2 Reaktor plazmowy GlidArc

Niskotemperaturowy, nietermiczny reaktor plazmowy GlidArc opracowano na początku lat 90-tych [10]. Zasada działania reaktora z tzw. ślizgającym się wyładowaniem jest następująca. Gaz poddawany obróbce wprowadzany jest osiowo, z dużą prędkością (10 - 20 m/s), pomiędzy elektrody. Urządzenie (rys 3.1.) składa się z dwóch, trzech lub większej ilości elektrod wyprofilowanych w kształcie noży, po których pod wpływem wymuszonego przepływu gazu i sił elektrodynamicznych "ślizga się" ekspansyjne wyładowanie elektryczne. Wytworzona w ten sposób nietermiczna plazma wypełnia znaczną część przestrzeni komór wyładowczych. Wartość napięcia na elektrodach, potrzebna do zapłonu łuku wynosi od kilku do kilkudziesiąt kV, a do jego podtrzymania około dziesięć razy mniej. Wyładowanie łukowe rozpoczyna się w miejscu, w którym odległość między elektrodami jest najmniejsza (kilka milimetrów). Wówczas natężenie prądu pary elektrod

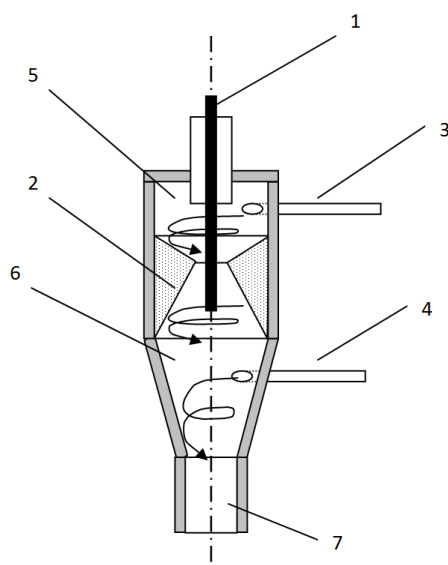
nie powinno przekraczać 10 A, a napięcie zapłonu osiąga wartość rzędu 10 kV. Z powodu przepływu gazu roboczego następuje przesuwanie się kolumny łukowej wzdłuż rozszerzających się elektrod. Napięcie między elektrodami podczas wyładowania wynosi (1-2) kV, co stanowi (10-20) % napięcia zapłonu. Wyładowanie ślizga się wzdłuż ostrzy elektrod, aż do miejsca, w którym następuje jego zerwanie, gdy energia dostarczana ze źródła zasilania nie jest w stanie dłużej kompensować strat energetycznych wydłużającej się kolumny łukowej. Po zgaśnięciu łuku w strefie gaśnięcia, wyładowanie odbudowuje się natychmiast w strefie zapłonu i następuje kolejny cykl pracy reaktora. Przykładowy reaktor tego typu (Glidarc I) przedstawiono na rysunku (3.1). Ponadto w 1997 opatentowano reaktor Glidarc II, w którym ślizgające się wyładowanie elektryczne generowane jest pomiędzy wirującą elektrodą centralną i kilkoma stacjonarnymi elektrodami umieszczonymi wokół elektrody centralnej. Natomiast w 2004 r. opatentowano reaktor Glidarc III (rys. 3.2), w którym wysokonapięciowe wyładowanie ślizga się i wiruje pomiędzy elektrodą centralną i otaczającą ją elektrodą w kształcie dyszy.



Rys. 3.1. Trójelektrodowy reaktor plazmowy typu Glidarc

W reaktorze plazmowym Glidarc prowadzono szereg badań laboratoryjnych w Polsce w ośrodkach naukowych m.in. w Gliwicach [5, 6, 7], Krakowie, Warszawie i Lublinie [12] oraz poza krajem, głównie we Francji [1, 2, 3, 4], Stanach Zjednoczonych, Belgii i Japonii. Prowadzono także badania na skalę techniczną (w celu oceny możliwości dopalania zanieczyszczeń organicznych) w lakierni, oraz wprowadzono komercyjną aplikację reaktora plazmowego Glidarc w procesie dopalania gazów odpadowych z unieszkodliwiania niewybuchów w instalacjach koło Ypres w Belgii oraz w Kanda w Japonii [14]. W tym przypadku odpady w postaci broni chemicznej (pociski z gazami i cieczami trującymi z czasu I i II WŚ) detonuje się przy użyciu dynamitu w warunkach

obniżonego ciśnienia w cysternie DAVICH (Detonation of Ammunition in Vacuum INtegrated Chamber). Następnie uzyskane w efekcie gazy i sadze (z zaadsorbowanymi na powierzchni pirolitycznymi związkami niebezpiecznymi) przepuszcza się z dodatkiem powietrza lub tlenu przez sześcielektroodowy reaktor Glidarc. Tu następuje utlenienie sadzy, dopalenie trucizn, a śladowe pozostałości związków trujących i tlenki azotu usuwa się na węglu aktywnym.



Rys. 3.2 Reaktor plazmowy typu Glidarc III, (1) elektroda centralna, (2) elektroda w kształcie dyszy umieszczonej wokół elektrody centralnej, (3) wlot gazu utleniającego podawanego do (5) przestrzeni reaktora, (4) wlot gazu syntezowego zanieczyszczonego sadzą, smołami i innymi węglowodorami, (6) przestrzeń działania ślizgającego się i wirującego wyładowania wysokiego napięcia, (7) wylot oczyszczonego gazu syntezowego.

Na podstawie badań laboratoryjnych własnych oraz wybranych prac badawczych i patentów realizowanych w innych jednostkach naukowo-badawczych stwierdzono, że niskotemperaturowa plazma wytwarzana w wysokonapięciowym reaktorze typu Glidarc jest skutecznym narzędziem w procesach przetwarzania i unieszkodliwiania substancji gazowych, o stosunkowo niskiej (jak dla procesów plazmowych) energochłonności. Stwierdzono między innymi skuteczność plazmy w procesie:

- destrukcji szkodliwych gazów, par i aerozoli lotnych związków organicznych, H_2S , metrkaptanów, N_2O , związków nitrowych, związków chlorowanych, aromatycznych związków policyklicznych),
- przetwarzania metanu do sadzy i wodoru,

- przetwarzania metanu na zasadzie reformingu parowego lub suchego do gazu syntezowego (CO i H₂) służącego w dalszym etapie do produkcji czystych paliw ciekłych,
- konwersji toluenu, chloroformu, cykloheksanu, ksylenu, benzenu oraz innych związków węglowodorowych w różnych gazach nośnych,
- dopalania związków nitrowych i innych trucizn powstających podczas unieszkodliwiania niewybuchów,
- przetwarzania SO₂ do postaci siarki stałej S,
- destrukcji ciężkich związków węglowodorowych i sadzy.

Reaktor Glidarc może być również wykorzystany do badań konwersji smół w gazie procesowym ze zgazowania biomasy. Do takiego procesu może być zastosowany reaktor plazmowy Glidarc III (rys. 3.2.), lub prostszy w budowie reaktor dwuelektrodowy Glidarc I we współpracy ze złożem katalitycznym.

4. Badania skuteczności działania reaktora typu GLIDARC w układzie z reaktorem zgazującym

4.1. Zgazowanie biomasy

W procesach zgazowania biomasy wykorzystywane są na ogół reaktory ze złożem stałym współprądowe lub przeciwprądowe. Medium zgazującym jest na ogół powietrze. Wynika to z prostoty ich konstrukcji oraz z dużej elastyczności pracy z różnego rodzaju biomasa. Reaktory przeciwprądowe zapewniają dobre wysuszenie biomasy (większa wilgotność paliwa) a ich sprawność cieplna jest stosunkowo wysoka. Ich wadą jest natomiast stosunkowo duża zawartość substancji smolistych w gazie opuszczającym reaktor.

Gaz procesowy może być zastosowany do opalania kotłów ciepłowniczych, które mają małe wymagania co do jakości i składu gazu. Natomiast wykorzystanie gazu do napędu silników spalinowych lub turbin gazowych stawia wyższe wymagania, szczególnie dotyczące zawartości substancji smolistych oraz pyłu:

Redukcję ilości substancji smolistych można osiągnąć przez zastosowanie reaktorów katalitycznych, reaktorów plazmowych lub przez mechaniczne usuwanie substancji smolistych po ochłodzeniu gazu. Celem przeprowadzonych badań było zbadanie możliwości usuwania substancji smolistych, w szczególności tzw. ciężkich z gazu procesowego za pomocą reaktora plazmowego z tzw. ślizgającym się wyładowaniem, typu GlidArc.

4.2. Metodyka badań

Badania polegające na pomiarach skuteczności oczyszczania gazu syntezowego ze składników smołowych przeprowadzono na instalacji zgazującej biomasa istniejącą w

Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze. Instalacja ta ma projektową wydajność cieplną około 150kW.

Reaktor zgazowujący ze złożem stałym jest zbudowany w formie pionowego cylindra o średnicy Ø400 mm i ok. 920 mm wysokości. Paliwo dostarczane do reaktora przechodzi przez strefę suszenia, pirolizy, spalania i zgazowania. Przepływ powietrza w strefie suszenia i pirolizy jest współprądowy a w strefie zgazowania jest przeciwprądowy.

Temperatura zgazowania wynosi około 850°C i ciepło gazu jest wykorzystywane do podgrzania powietrza podawanego do reaktora. Wydajność reaktora wynosi około 150m³/h a ilość substancji smolistych wynosi około 0,5%.

Do badań procesu oczyszczania gazu wykorzystano reaktor typu GlidArc dwuelektrodowy wraz ze złożem katalizatora niklowego wspomagającego rozkład substancji smolistych. Ze względu na ograniczoną przepustowość reaktora w czasie badań przez GlidArc przepuszczono tylko część strumienia gazu z reaktora zgazowującego w celu dopalenia zanieczyszczeń smołowych. Jako gaz wspomagający rozkład termiczny przed reaktorem GLIDARC doprowadzano do strumienia gazu tlen w ilości kilku procent strumienia oczyszczanego gazu. Jego strumień odnoszono do strumienia doprowadzanego gazu jako O₂/gaz.

Przeprowadzone badania miały charakter rozpoznawczy i miały pokazać, czy układ istniejącego reaktora zgazowującego może współpracować z posiadanym reaktorem typu GLIDARC. Z tego względu w mierzono zawartość lotnych Substancji Organicznych (LZO) jako reprezentanta substancji smolistych. Do pomiarów wykorzystywano analizator lotnych związków organicznych J.U.M. HFID 3-200 umożliwiający ciągły pomiar zawartości LZO w gazie za reaktorem zgazowującym oraz w gazie za reaktorem plazmowym dla określenia skuteczności ich dopalania.

4.2. Wyniki wstępnych badań

Wykonano trzy serie badań w dniu 7.11.2010 zmieniając strumień doprowadzanego tlenu. Wielkościami mierzonymi były zawartości składników w gazie przed i za GLIDARKiem, mierzone za pomocą analizatorów typu MAIHAK, zawartości LZO mierzone analizatorem lotnych związków organicznych J.U.M. HFID 3-200 oraz temperatura złoża katalizatora mierzona termoelementem.

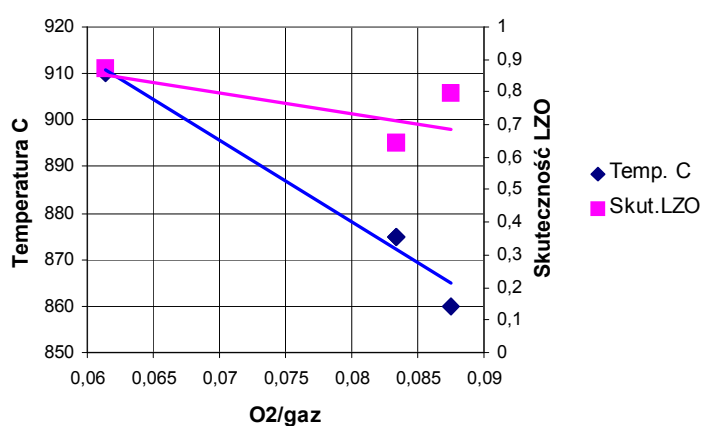
Ze względu na pewną zmienność składu gazu wypływającego z reaktora zgazowującego do analizy wzięto zmiany stężenia składników gazu na wylocie (OUT) i wlocie (IN) do reaktora GLIDARC. Takie przedstawienie wyników pozwala na określenie tendencji zmian poszczególnych składników i lepsze zrozumienie reakcji zachodzących w GLIDARKu i w katalizatorze.

Dla oceny efektywności redukcji substancji węglowodorowych przez GLIDARC obliczono Skuteczność usuwania LZO obliczaną jako:

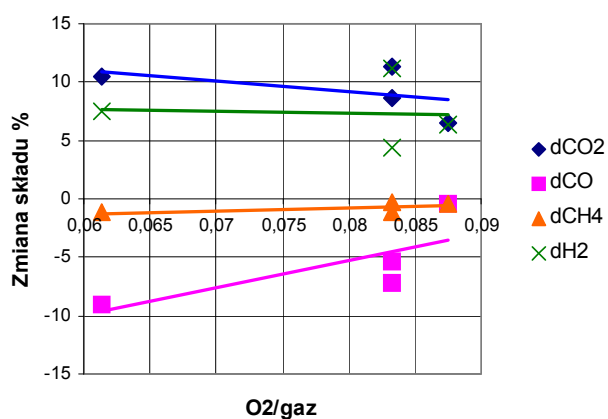
$$\varepsilon_{LZO} = \frac{S_{LZO,OUT} - S_{LZO,IN}}{S_{LZO,IN}}$$

Gdzie $S_{LZO,IN}$ i $S_{LZO,OUT}$ oznaczają odpowiednio stężenia LZO w gazie na wlocie i wylocie z GLIDARKa.

Wyniki pomiarów przedstawiono na wykresach: Rys. 4.1. i 4.2. w formie zależności od względnej ilości tlenu O_2 /gaz.



Rys.4.1. Zależność skuteczności usuwania LZO i temperatury złoża katalizatora od ilości tlenu.



Rys.4.2. Zależność przyrostu stężenia składników gazu od ilości tlenu.

Na rys. 4.2. wielkości DCO₂ itd. oznaczają odpowiednio:

$$dCO_2 = CO_{2,OUT} - CO_{2,IN}$$

Jak wynika z przedstawionych wykresów reaktor GLIDARC wraz z katalizatorem niklowym pozwala na znaczącą redukcję ilości LZO w gazie (65 – 85%). Skuteczność tej redukcji maleje ze wzrostem ilości doprowadzanego tlenu, przy równoczesnym spadku temperatury katalizatora.

Równocześnie widać, że w reaktorze maleje stężenie CO₂ i H₂ natomiast rośnie stężenie CH₄ i CO. Zmiany te maleją wraz ze wzrostem ilości doprowadzanego tlenu, jednak świadczą o zachodzących tam reakcjach dopalania CO i rozkładu CH₄.

5. Podsumowanie

Zastosowanie gazu syntezowego z procesu zgazowania biomasy czy odpadów, uważasie obecnie za najbardziej przyszłościową metodę wykorzystania biomasy jako źródła energii . Energetyczne wykorzystanie biomasy jak również odpadów poprzez spalanie jest obecnie uważane za technologię mało perspektywiczną. Biomasa i odpady mogą być materiałem wyjściowym do dalszych procesów produkcji paliwa gazowego lub ciekłego, zwłaszcza, że potencjał energetyczny odpadów generowanych co roku w Polsce wg różnych szacunków stanowi ok. 10 % obecnie wykorzystywanych źródeł energii. Należy jednak wziąć pod uwagę konieczność opracowania wydajnych i niskoenergochłonnych technologii oczyszczania gazu procesowego powstającego w procesie zgazowania tych substancji.

Obecne najnowsze projekty badawcze na Świecie ukierunkowane są na zagadnienia związane ze stabilizacją składu i odpowiedniego oczyszczenia gazów powstających w procesie zgazowania biomasy i odpadów.

Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że konwencjonalne metody oczyszczania gazu z procesu zgazowania biomasy zajmują znaczne powierzchnie (adsorbent), są stosunkowo kosztowne (termiczne) i nie zawsze przynoszą oczekiwane rezultaty (obniżenie wartości opałowej gazu procesowego). W związku z powyższym celowym wydaje się poszukiwanie nowych efektywnych i atrakcyjnych ekonomicznie metod w celu konwersji smół w gazie syntezowym. Takimi metodami mogą być wyładowania elektryczne w gazie, czyli niskotemperaturowe metody plazmowe.

Przeprowadzone badania potwierdzają możliwość zmniejszenia zawartości substancji smolistych i węglowodorowych w gazie reaktorowym przez zastosowanie reaktora plazmowego wspomaganego przez złożę katalizatora. Badania te wymagają kontynuacji dla potwierdzenia otrzymanych zależności dla substancji smolistych i nielotnych zawartych w gazie ze zgazowania biomasy.

Literatura

- [1] Czernichowski A., Ranaivosoloarimanana A.: Zapping VOCs with discontinuous electric arc, CHEMTECH, April 1996, p.45-49
- [2] Czernichowski A.: Electrically Assisted Conversion of Natural Gas into Syngas, GAS-TO-LIQUID PROCESSING, Bringing Clean Fuels to Market, San Antonio, March 18-20, 1998
- [3] Czernichowski A.: Gliding arc. Applications to engineering and environment control, Pure and Appl. Chem. 66(6), (1994), p. 1301-1310
- [4] Czernichowski A.: Plasma Reactors GlidArc cold plasma, European Roadmap of Process Intensification – Technology Report (<http://pagesperso-orange.fr/albin.czernichowski/ECP/Technology%20Report%20v.3.pdf>)
- [5] Ferenc Z. (obecnie Czekalska), Kandyba A.: Przegląd metod unieszkodliwiania toksycznych gazów z procesów termicznych, Termiczne unieszkodliwianie odpadów, Restrukturyzacja procesów termicznych, praca zbiorowa pod red. Wandrasza J. W., Wydawnictwo Futura, Poznań, 2007, str. 201-213
- [6] Ferenc Z. (obecnie Czekalska), Kandyba A.: Unieszkodliwianie zanieczyszczeń gazowych w reaktorach plazmowych, Efektywne zarządzanie gospodarką odpadami, VII Międzynarodowe Forum Gospodarki Odpadami, Wydawnictwo Futura, Kalisz-Poznań, 2007, str. 659-668
- [7] Ferenc Z. (obecnie Czekalska): Badanie efektywności rozkładu śladowych, węglowodorowych związków toksycznych za pomocą plazmy niskotemperaturowej, praca doktorska, promotor Wandrasz J. W., Gliwice, 2002
- [8] Han, Jun; Kim, Heejoon, "The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview" Renewable and Sustainable Energy Reviews 2008 pp. 397-416
- [9] Kuniko Urashima, Jen-Shih Chang: Removal of Volatile Organic Compounds from Air stream and Industrial Flu Gases by Non-Thermal Plasma Technology, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol 7 No 5, October 2000
- [10] Lesueur H. Czernichowski A. Chapelle J.: Dispositif de Generation de Plasmas BasseTemperature par Formation de Decharges Electriques Glissantes, French Patent No. 2 639 172 (1988)
- [11] Nair S. A., Pemen A. J. M. , Yan K, Vav Gompel F. M. Van Leuken H. E. M. Van Heesch E. J. M. Ptasinski K. J., Drinkenburg A. A. H.: Tar removal from biomass-derived fuel gas by pulsed corona discharges, Fuel Processing Technology 84 (2003), p. 161-173
- [12] Opalińska. T, Zieliński T., Schmidt-Szałowski K.: Carbon Black Making by Gliding Discharge, Acta Agrophysica, 2002, 80, 159-166

- [13] Wang, Tiejun; Chang, Jie; Cui, Xiaoqin; Zhang, Qi; Fu, Yan, "Reforming of raw fuel gas from biomass gasification to syngas over highly stable nickel and magnesium solid solution catalysts" *Fuel Processing Technology* 2006 pp. 421-428
- [14] Washida T., Kitamura R.: Destruction of Old Chemical Bombs using DAVINCH at KANDA (Takashi WASHIDA), 10th International Chemical Weapons Demilitarisation Conference, Brussels, May, 2007
- [15] Visser H. J. M., Zwart R., Konemann J. W. Bos A., Kuipera J.: RDF – gasification part 1: characterizing the use of RDF as fuel and solving the tar problem by in-depth laboratory study, *Proceedings Venice 2008, Second International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy; 17-20 November 2008, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.*