

SPOSOBY KONWERSJA BIOMASY W CELU POPRAWY JEJ WŁAŚCIWOŚCI PALIWOWYCH

Szymon Szufa

Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka

1. WSTĘP

Węgiel kamienny i inne paliwa kopalne takie jak węgiel brunatny, gaz są głównymi źródłami energii, z których w Polsce i na świecie produkuje się energię elektryczną i ciepłą. Zasoby tych, że paliw wyczerpują się z roku na rok i należy szukać nowych alternatywnych źródeł energii. Najbliższe lata pokażą, w którym kierunku będzie zmierzała Polska i Europa jeżeli chodzi o wykorzystanie nowych odnawialnych źródeł energii zarówno na potrzeby energetyki jak i na potrzeby transportu. Elektrownie oraz elektrociepłownie stosujące w większości węgiel jako podstawowe paliwo w strumieniu paliwowym bardzo negatywnie wpływają na stan środowiska naturalnego a także ze względu na dużą emisję dwutlenku węgla podczas spalania węgla wpływają na zaburzenie efektu cieplarnianego. Protokół z Kioto oraz pozostałe dyrektywy Unii Europejskiej, które określiły 20% redukcję emisji CO₂ oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 15% w Polsce do 2020 roku w porównaniu ze stanem z roku 1997. Zwarzywszy na te obwarowania z roku na rok wzrasta zainteresowanie biomasą jak paliwem alternatywnym do węgla - głównego paliwa spalnego w kotłach energetycznych, szerokie i rozproszone, lokalne wykorzystanie biomasy pozwoli na wywiązanie się z wyżej wymienionych zobowiązań wobec Unii Europejskiej. Spalanie biomasy w kotłach energetycznych jako głównego paliwa w elektrowni lub elektrociepłowni jest rzeczywiście według ekspertów rozwiązaniem, które na pewno będzie wpływało z korzyścią dla naturalnego środowiska. Biomasa jest paliwem, które jest określane mianem czystego od dwutlenku węgla, gdyż emituje go w wyniku spalania taką samą ilość jak podczas wzrostu w trakcie procesu fotosyntezy. Niestety rozproszone zasoby biomasy oraz zmienna jakość biomasy, która wynika ze zmian klimatycznych i oraz coraz częściej występujących sezonowych wahań pogody są głównymi zagrożeniami obnażającymi niebezpieczeństwa jakie wiążą się z wykorzystaniem biomasy jako paliwa, które w pełni miało by zastąpić paliwa kopalne. Biomasa drzewna stanowiąca 90% całej biomasy na Ziemi nie licząc biomasy bakteryjnej stanowi obiecujące odnawialne źródło energii dla węgla, jak wspomniano wcześniej zasoby biomasy są często mocno rozproszone, jej ilość jest uzależniona od czynników pogodowych a transport do miejsca spalania najczęściej bardzo drogi. Biomasa, która charakteryzuje się niższą niż węgiel kamienny czy brunatny wartością opałową i gęstością energetyczną jest mimo wszystko paliwem ekonomicznie opłacalnym jako tanie źródło energii. Pozyskanie energii cieplnej i elektrycznej z biomasy nie jest procesem wysoce kapitałochłonnym ze względu na szereg dopłat (ulgi podatkowe, pierwszeństwo sprzedaży energii produkowanej z odnawialnych źródeł energii czy też zielone certyfikaty) stosowanych przez Unię Europejską jako zachęta w inwestowanie w energetykę odnawialną i czyste technologie dla wytwórców ciepła i prądu z zielonej energii. Powstaje coraz więcej technologii wykorzystania biomasy jako paliwa, którą bardzo łatwo jest przetworzyć ze stałej do płynnej lub gazowej postaci [1]. Z termodynamicznego punktu widzenia zasoby biomasy można podzielić dwie grupy, pierwsza z nich to grupa biomasy

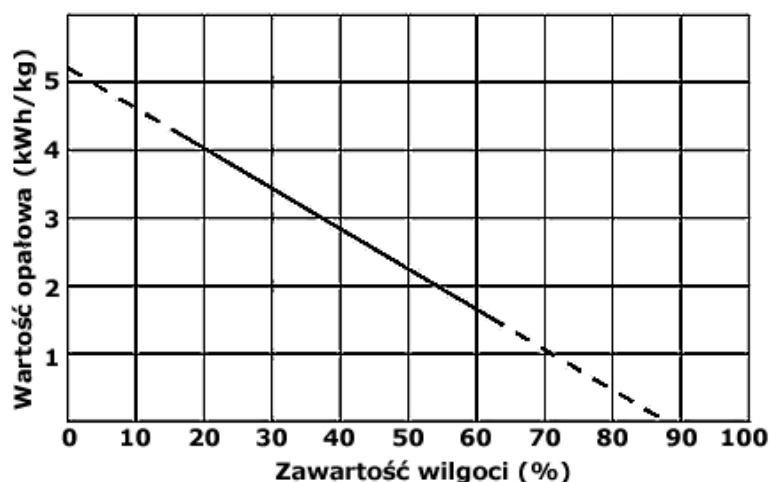
stanowiąca nośniki energii w fazie stałej, które mogą ulegać procesowi spalania, pirolizy a także tlenowo-parowego zgazowania do mieszaniny dwutlenku i tlenku węgla, metanu i wodoru. Gazową postać biomasy można przekształcić w energię cieplną i elektryczną poprzez zastosowanie technologii dobrze poznanej i stosowanej także do metanolu, czyli paliwa silnikowego według znanej i szeroko stosowanej w przemyśle technologii Fischera-Tropscha [2]. W drugiej grupie znajdują się te zasoby, które można przetwarzać w paliwa płynne i biogaz, będący przede wszystkim mieszaniną metanu i dwutlenku węgla.

Współspalanie biomasy z węglem kamiennym lub brunatnym w dużych kotłach bloków energetycznych wydaje się na dzień dzisiejszy rozwiązaniem najbardziej racjonalnym w momencie gdy zasoby biomasy znajdują się w bliskim sąsiedztwie (według ekspertów do 80 km od miejsca spalania) elektrowni lub elektrociepłowni. Wzrost udziału współspalania biomasy w elektrowniach i elektrociepłowniach konwencjonalnych opalanych węglem jest efektywną i szybką do zastosowania metodą służącą redukcji emisji dwutlenku węgla CO_2 i dwutlenku siarki SO_2 . Aby zwiększyć udział biomasy do 30% a nawet do 50% w ogólnym bilansie paliwa spalanego w dużych kotłach energetycznych cząsteczki biomasy muszą być w sposób ekonomicznie opłacalny zmielone do rozmiarów przy których osiągną wartość opałowa zbliżoną do wartości opałowej węgla. Istnieją różne metody wstępnej transformacji biomasy w bardziej węglopodobną materię, które powinny być dokładnie przebadane, takie metody jak toryfikacja czyli wysokotemperaturowe suszenie biomasy w specjalnych reaktorach, piroliza lub hydroliza ale przy użyciu nowych technik intensyfikacji procesu pozwalających otrzymać potencjalnie wyższe sprawności całego systemu. W elektrociepłowniach oraz elektrowniach, w których stosuje się współspalanie biomasy z węglem, można zauważyć stabilizację całego systemu, kompensację okresowych zmian ilości i jakości biomasy. Koszty inwestycyjne oraz operacyjne współspalania w blokach ciepłych są niższe niż w systemach ciepłych, w których dochodzi do spalania samej biomasy. Dodatkowo współspalanie przynosi wymierne korzyści środowiskowe natomiast ze względu innych od węgla właściwości paliwowych, biomasa nadal budzi zastrzeżenia operatorów kotłów energetycznych. Istnieje wiele problemów logistycznych z biomasą (kosztowny transport i magazynowanie) oraz wiele problemów natury technicznej: współmielenie oraz podawanie paliwa do kotła, powstawanie osadów na ścianach ekranów kotła, powierzchniach wymienników ciepła i innych elementach kotła (szlakowanie, osady sypkie, żużlowanie), spiekanie a także korozja. Wysoka zawartość wilgoci w biomasie, jej niejednorodność i bardzo niska gęstość energetyczna (wartość opałowa biomasy wynosi 50% tej samej masy węgla, kiedy jej gęstość energetyczna stanowi 2 do 7% gęstości energetycznej węgla), a także utrudniony przemiał powodują, że udział współspalanej biomasy z reguły nie przekracza 10% udziału w strumieniu paliwa do paleniska [3]. Trudności współspalania biomasy narastają wraz ze wzrostem udziału biomasy (przede wszystkim gdy stosuje się niskiej jakości biomasę w bezpośrednim współspalaniu z węglem). Biomasa jest paliwem o słabych właściwościach przemiałowych, może posiadać wysoką zawartość chloru, posiada własności hydrofilowe, jej popioły mają niską temperaturę topnienia co prowadzi do szlakowania kotła. Istnieje wiele sposobów zapobiegania wyżej wymienionym problemom wśród których można wymienić: wymiana zniszczonego urządzenia, mechaniczne usuwanie osadów, czyszczenie złoża fluidalnego, intensyfikacja procesu poprzez dodawanie związków chemicznych, zmiana bądź dodanie nowego elementu do systemu instalacji ciepłej. Niestety wszystkie te metody likwidują tylko zaistniałe skutki współspalania biomasy.

Wstępne przygotowanie biomasy do jego współspalania z węglem jest rozwiązaniem, które likwiduje problem towarzyszące temu procesowi u ich źródła. Praca ta przedstawia takie metody obróbki biomasy jak suszenie, rozdrabnianie, peletyzacja, toryfikacja, peletyzacja z toryfikacją, piroliza i hydroliza.

2. *TECHNIKI WSTĘPNEJ OBRÓBKI BIOMASY*

1) Suszenie biomasy: Proces suszenia biomasy pomaga w pozbyciu się wody zawartej w materiale przez co rozwiązuje częściowo problemy składowania i magazynowania biomasy, między innymi: rozpadu materiału (utrata masy suchej i energii pleśnienia), procesy pleśnienia, który może powodować zagrożenie dla zdrowia i alergię, zagrożenie związane z samozapłonem, procesy mikrobiologiczne powodujące emisje a w konsekwencji obniżenie wartości opałowej. Cząsteczki wody, które znajdują się w biomacie muszą zostać odparowana w palenisku aby mogło dojść do procesu spalania. Suszenie jest procesem stosunkowo drogim, gdyż biomasa podczas suszenia w specjalnych suszarniach wymaga wcześniejszego rozdrobnienia co pociąga widmo dużych nakładów inwestycyjnych a także powoduje powstawanie nowych problemów jak na przykład znalezienie miejsca na budowę nowej instalacji, która bardzo często przy suszeniu biomasy wiąże się dużymi powierzchniami. Dzięki suszeniu znacząco obniża się użyteczna ilość energii jaką można pozyskać z suszonego paliwa. Obniżając zawartość wilgoci w biomacie z 50% do 20% możemy zwiększyć jej wartość opałową nawet do 60%. Z ekonomicznego punktu widzenia korzystne w miarę możliwości jest suszenie biomasy na świeżym powietrzu w sposób naturalny, niestety dużą wadą tego typu rozwiązania jest zagrożenie zmianami pogodowymi. Wykorzystanie drewna, jako źródła energii wymaga jego odpowiedniego wysuszenia. Przy składowaniu drewna na wolnym powietrzu ulega ono samoczynnemu procesowi suszenia. W celu uzyskania poziomu zawartości wilgoci 15% wymagane jest dwuletnie sezonowania. Z tego powodu wykorzystanie drewna, jako paliwa wiąże się z koniecznością zorganizowania odpowiednio przygotowanego składu drewna przy budynku, które będzie chronić drewno przed opadami atmosferycznymi. Spalenie świeżego i mokrego drewna to z jednej strony strata często połowy potencjalnie zawartej w nim energii. Z drugiej spalanie mokrego drewna wiąże się ze znacznie wyższą emisją CO₂, WWA (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne), TOC oraz innymi problemami eksploatacyjnymi kotła. Producenci kotłów na biomasę zastrzegają gwarancję w przypadku gdy paliwo jakim są zasilane ich kotły zawiera zbyt dużą ilość wilgoci. Woda zawarta w paliwie generuje wiele problemów oraz zagrożenie dla kotłów grzewczych, szczególnie przy pracy z częściowym obciążeniem. Jednym z racjonalnych rozwiązań jest zastosowanie solarnej suszarni biomasy, w którym ogrzane energią słoneczną powietrze dostarczane jest dzięki specjalnie zaprojektowanym dnie sitowym, pod spód przyzmy zrębków. W rozwiązaniu tym stosowane są powietrzne kolektory słoneczne posiadające odpowiednią konstrukcję gwarantującą wysoką sprawność, powietrze zastosowane jako nośnik energii sprawia że nie są potrzebne dodatkowe wymienniki co sprawia iż instalacja jest prostsza i łatwa w eksploatacji. Wilgotność drewna ma bardzo duży wpływ na jego kaloryczność co widać na wykresie Rys.1., a co się z tym wiąże na zużycie opału w sezonie. Można tą zależność wytłumaczyć w przystępny i jasny sposób jeżeli uświadomimy sobie, że przed procesem spalania drewna duża ilość energii musi zostać przeznaczona na odparowanie wody w nim zawartej. Biorąc za przykład świeżo ściętą sosnę, która charakteryzuje się gęstości rzędu 700 kg/m³, natomiast w stanie całkowicie suchym jej gęstość wynosi 480 kg/m³. Różnica na poziomie 220 oznacza, że ta ilość wody musi zostać podgrzana powyżej 100 °C i zamienione w parę wodną w przypadku palenia mokrym drewnem. Podwyższona zawartość pary wodnej w spalinach wpływa niekorzystnie na układ wymiennikowy kotła i na komin zwiększając proces depozycji zanieczyszczeń. Podsumowując wilgotność drewna przeznaczonego na opał nie powinna przekraczać granicy 25%, a optymalnie powinna mieścić się w granicach 10-18%.

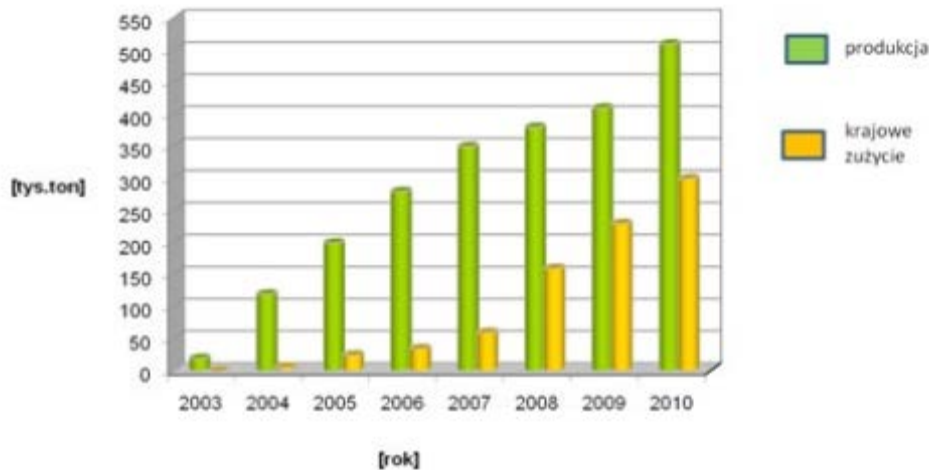


Rys.1. Wykres przedstawia jak zmienia się wartość opałowa biomasy drzewnej w zależności od zawartości wilgoci [4]

2) Rozdrabnianie biomasy: Proces rozdrabniania biomasy przeprowadza się poprzez mielenie bądź cięcie i jest podstawowym a także najczęściej spotykanym sposobem obróbki wstępnej biomasy w celu jej spalania w kotle. Metoda rozdrabniania wykorzystywana jest zazwyczaj przed transportem biomasy w celu zwiększenia jej gęstości nasypowej a w konsekwencji w celu obniżenia kosztów transportu. Magazynowanie rozdrobnionej biomasy niesie niestety negatywne skutki z powodu podwyższonej aktywności mikrobiologicznej miazgi co jest przyczyną utraty suchej masy, emisji gazów cieplarnianych (CH_4 , N_2O) a także nagrzewaniem się hałdy, co w skrajnych wypadkach może prowadzić do samozapłonu. Z wyżej wymienionych przyczyn najlepszym rozwiązaniem, które nie zawsze jest możliwe do realizacji ze względów organizacyjnych, jest rozdrobnienie biomasy bezpośrednio przed jej transportem i kolejno zużycie jej jako paliwa w krótkim okresie czasu.

3) Peletyzacja biomasy: W ubiegłych latach produkcja i wykorzystanie peletu z biomasy wzrosło parokrotnie w Polsce i w całej Europie. W takich krajach jak Stany Zjednoczone i Kanada rynek produkcji peletu rozwija się błyskawicznie. Granulat biomasy jest używany do ogrzewania budynków użyteczności publicznej jak i gospodarstw domowych od około 20 lat. Także w naszym kraju pelet biomasy cieszy się coraz większą popularnością. Głównym surowcem do produkcji granulatu są odpady z zakładów przeróbki drewna, odpady drzewne z tartaków oraz leśne odpady drzewne. Najczęściej stosowanymi odpadami do produkcji granulatu są wióry i trociny. Z technicznego punktu widzenia możliwe jest również produkcja granulatu ze zrębków, upraw energetycznych, kory oraz słomy. Produkcja peletu biomasy przebiega w trzech kolejnych procesach: suszenia, mielenia a następnie prasowania. Pelet wytłacza się z rozdrobnionej suchej biomasy pod dużym ciśnieniem w specjalnej prasie rotacyjnej, bez stosowania substancji klejącej i lepiszcza [5]. Ostatecznym produktem są małe granulki o średnicy 5 do 25mm oraz długości dochodzących do kilku centymetrów. Siły działające podczas wyciskania ze względu na osiągnięte wysokie wartości powodują, że w małej objętości skupiona jest duża ilość produktu. Paliwo w postaci pelet odznacza się niską zawartością wilgoci (8-12%), popiołów (0,5%) oraz szkodliwych dla środowiska substancji a za to ma wysoką wartość energetyczną. Cechy te powodują, że jest to paliwo przyjazne środowisku naturalnemu, a także łatwe w transporcie, magazynowaniu i dystrybucji. Granulat z odpadów drzewnych jest konkurencyjny dla oleju, węgla i gazu pod względami ekonomicznymi i ze względu na mniejsze emisje gazów i pyłów. Niestety pelet nadal musi być transportowany i magazynowany w suchym miejscu i w specjalnych szczelnych workach

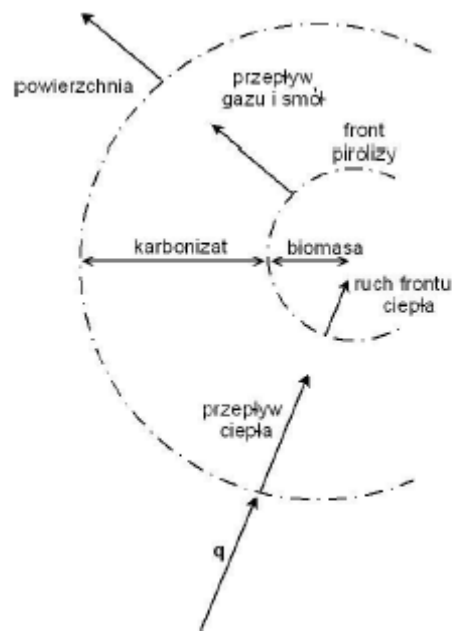
lub kontenerach, gdyż jest nadal narażony na procesy gnilne i ulega biodegradacji. Biomasa w postaci peletu to jedno z najtańszych paliw, jego cena jest dużo niższa od cen oleju opałowego i gazu. Wykorzystanie granulatu do ogrzewania budynków użyteczności publicznej i w budownictwie jednorodzinym jest bardzo korzystne, szczególnie tam gdzie obecnie stosuje się olej opałowy.



Rys.2. Wykres przedstawiający zużycie peletu w Polsce w latach 2002-2010

4) Piroliza biomasy: Piroliza biomasy jest to pierwszy z etapów procesu spalania, piroliza to inaczej mówiąc rozszczepiania cząsteczek związków chemicznych o dużej masie cząsteczkowej pod wpływem dostarczonej energii cieplnej na małe cząsteczki w atmosferze zredukowanej (przy niedoborze tlenu) jaki jest prowadzony w temperaturze przekraczającej 600 °C. Wśród różnego rodzaju pirolizy charakteryzując ją ze względu na różne warunki jej przebiegu na pirolizę konwencjonalną, szybką oraz błyskawiczną. Piroliza to proces, który jest wstępem do gazyfikacji oraz spalania, i nie jest jeszcze dobrze przebadaną technologią jak proces gazyfikacji czy spalanie. Zaletą pirolizy w porównaniu do spalania czy gazyfikacji jest taka właściwość produktu pirolizy, która pozwala na jej bezproblemowe transportowanie, co znacznie zmniejsza koszty tego transportu paliwa. Podstawowymi produktami pirolizy jest biopaliwo, które w ciekłym stanie skupienia nazywanej olejem pirolitycznym □ bądź bioolejem, które są kompleksową formą węglowodorów utlenionych. Przebieg procesu szybkiej pirolizy biomasy złożona jest z następujących etapów: podsuszenie biomasy do zawartości wilgoci na poziomie 10%, rozdrobnienie biomasy na małe cząstki w celu wzrostu prędkości pirolizy. Produktem pirolizy biomasy jest węgiel drzewny (około 12%), chłodzenie ciekłych produktów pirolizy (olej pirolityczny 60 do 75%), oraz niewielkiej ilości mieszaniny gazów palnych (około 13%), które są wykorzystywane jak źródło ciepła w celu spalania do dalszego procesu pirolizy. Metoda ta polega na szybkiej dekompozycji biomasy (degradacji polimerów i grup OH) o niskiej wilgotności (10-18%) w temperaturze rzędu 450-550 °C do płynnej postaci oleju pirolitycznego odznaczającego się wysoką gęstością energetyczną. Większość rodzajów biomasy może być poddana procesowi pirolizy . Piroliza jest procesem zaawansowanym technologicznie oraz bardzo wydajnym [6]. Ponieważ produktem pirolizy jest paliwo w ciekłym stanie skupienia niezbędna jest specjalna infrastruktura do jego transportu a także składowania i magazynowania w celu kolejnego podawania do kotła. Piroliza powoduje powstanie wymogu precyzyjnej kontroli parametrów procesu, szczególnie kontroli temperatury oraz czasu trwania kolejnych faz. Ważnym etapem jest faza chłodzenia produktów pirolizy, która jest przeprowadzana celem uniknięcia wtórnych reakcji termicznego rozpadu powstałych produktów. Proces szybkiej pirolizy nie jest w chwili

obecnej przeprowadzany na świecie w skali przemysłowej, funkcjonuje natomiast duża liczba instalacji demonstracyjnych produkujących bio-olej. Proces pirolizy jest wykonywany w reaktorach z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym.



Rys.3. Schemat obrazujący mechanizm transportu w trakcie procesu pirolizy

Odmiernym procesem w stosunku do szybkiej pirolizy jest piroliza wolna zachodzi wraz ze wstępnym procesem płukania uwęglonej biomasy, która jest finalnym produktem pirolizy co powoduje, że jest on wyflukana z potasu a także chloru a następnie może być współspalana wraz z węglem co drastycznie ogranicza niebezpieczeństwo wystąpienia korozji chlorkowej. Należy pamiętać, iż podczas procesu pirolizy typu szybkiego surowiec drzewny ulega konwersji w paliwo w stanie ciekłym, które nie sprawia problemów transportowych, co powoduje że infrastruktura magazynowo-logistyczna jest łatwa do przekształcenia w celu bardziej optymalnego dostarczania oraz spalania bez dużych kosztów inwestycyjnych. Olej pirolityczny jaki powstaje podczas procesu pirolizy może być potencjalnie wykorzystywany w kotłach energetycznych, turbinach i silnikach typu Diesel [7]. Pomimo tego, że oleje pirolityczne odznaczają się mniejszą wartością opałową w porównaniu do oleju opałowego. Inną pozytywną zaletą pirolizy, która pozytywnie wpływa na jej wykorzystywanie w szerszej skali przemysłowej, jest pozbycie się problemów powstających przy współspalaniu biomasy świeżej w stałej formie z węglem jak szlakowanie powierzchni ogrzewalnych kotła, depozycji osadów czy też korozji wysokotemperaturowej lub chlorkowej.

5) Płukanie biomasy. Płukanie biomasy to proces wstępnej obróbki biomasy, podczas którego dochodzi do usuwania związków alkaicznych. Płukanie zazwyczaj może być przeprowadzone przy użyciu zwykłej wody. W wyniku płukania obniżona jest aktywność korozyjna biomasy, procesy formowania osadów w złożu, co ostatecznie przyczynia się do mniejszego zużywania kotłów i urządzeń grzewczych. Płukanie słomy jest procesem bardzo rozsądnym, ponieważ w słomie występuje wyjątkowo dużo substancji alkalicznych i chloru. Jediną wadą płukania jest wzrost zawartości wody w biomacie co zwiększa koszty związane z jej suszeniem.

6) Toryfikacja (karbonizacja, uwęglanie bądź prażenie biomasy). Toryfikacja to słowo pochodzenia francuskiego (oznaczającego prażenie) biomasy to inaczej proces

wysokotemperaturowego suszenia biomasy poprzez dostarczanie energii cieplnej w atmosferze pozbawionej tlenu, przy udziale gazów inertnych takich jak azot lub argon celem, którego jest termo-chemiczna obróbka biomasy w produkt o polepszonych właściwościach przemiałowych oraz właściwości, które są bliskie właściwości do węgla (a dokładniej torfu bądź kiepskiej jakości węgla brunatnego) [8]. Proces toryfikacji biomasy powoduje, że nowe paliwo w postaci uwęglonej biomasy jest bardziej kruche, dzięki czemu redukujemy wydatki energetycznych na proces mielenie. Dodatkowo nowe biopaliwo posiada inne niż biomasa nieprzetworzona właściwości hydrofobowe, które sprawiają, że magazynowanie biomasy jest bardziej efektywne dzięki obniżeniu aktywności biologicznej i procesu degradacji składowanego paliwa. Te nowe właściwości biomasy, które następują w wyniku modyfikacji struktury polimerów: hemicelulozy, ligniny oraz w mniejszym stopniu niż celuloza. Prażenie biomasy określane jako proces termo-chemicznej degradacji przeprowadzany jest w warunkach beztlenowych, w temperaturze rzędu 200-300 °C pod ciśnieniem atmosferycznym. Toryfikacji nie jest procesem nowym, ponieważ jest stosowany przez 80 lat i wywodzi się z procesu prażenia ziaren kawy w celu nadania im odpowiedniej kruchości i innych właściwości. Proces prażenia biomasy na cele energetyki i ciepłownictwa jest procesem badanym i wykorzystywanym jak do tej pory jedynie w skali laboratoryjnej i pilotażowej przez ostatnie dwadzieścia lat.



Rys.4. Widok toryfikatu TOP Pellets holenderskiego Instytutu ECN (z ang. *Energy Research Center of Netherlands*)

Toryfikacja jako proces obróbki w wyniku dostarczanego ciepła przeprowadzany jest w wąskim zakresie temperatur (200-300 °C) i powoduje wzrost gęstości energetycznej biomasy głównie w wyniku dekompozycji reaktywnego składnika biomasy, którym jest hemiceluloza. Według prac zawartych w rozprawie doktorskiej jednego z holenderskich doktorów proces toryfikacji składa się z dwóch podstawowych etapów [9]. Etap pierwszy to reakcja w wyniku, którego powstaje ubytek masy na poziomie 25-30% pierwotnej masy toryfikowanej biomasy, który rośnie gdy rośnie temperatura do momentu uzyskania maksimum, przy którym ubytek masy w czasie jest największy (jest to drugi etap procesu taryfikacji). Początkowy etap ubytku masy jest szybszym, lecz mniej intensywnym etapem, którego przebieg tłumaczy się zmianą w kompozycji polimerów hemicelulozy. Drugi etap znacznie wolniejszy od pierwszego etapu jest znacznie wolniejszy a degradacja oraz wielkość ubytku masy w czasie dużo wyższa i związana jest z dekompozycją celulozy oraz uwęglaniem struktur hemicelulozy. Proces termicznego rozpadu biomasy drzewnej jest procesem kompleksowym ze względu na występowanie różnych frakcji drewna. W mikroskopowej skali drewno zbudowane jest z komórek w postaci mikrowiązek cząsteczek celulozy otoczonych cząsteczkami hemicelulozy. Lignina jest tą frakcją biomasy, który

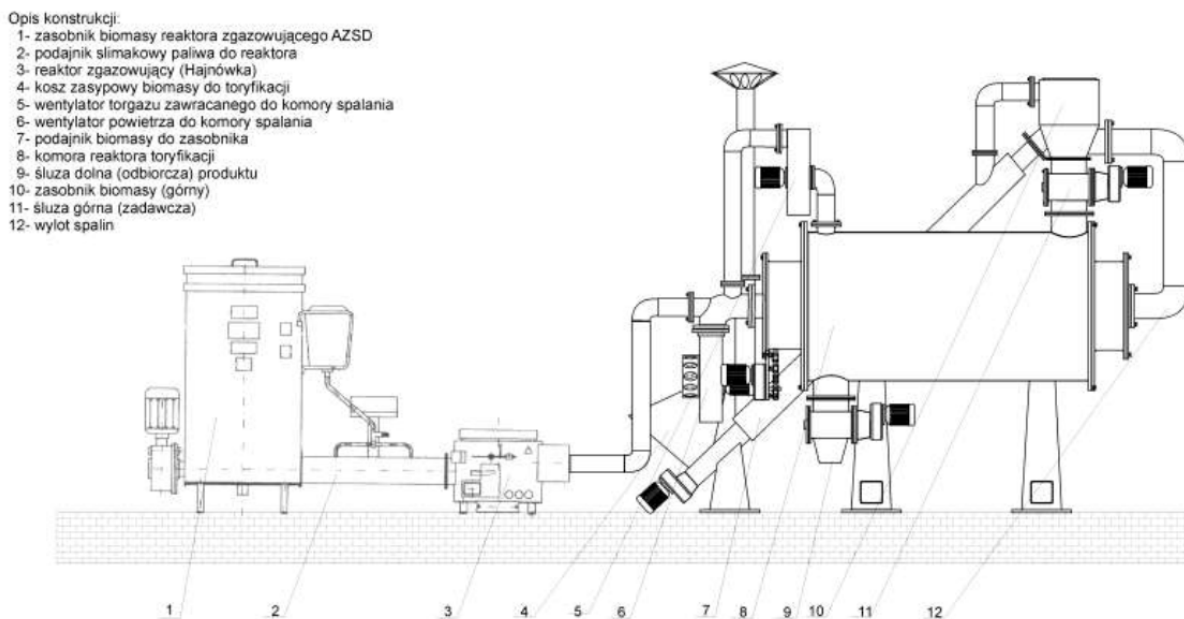
znajduje się pomiędzy hemicelulozą i celulozą. Hemiceluloza, lignina i celuloza jako różne frakcje drzewne charakteryzują się różną wrażliwością cieplną. Poprzez różnych stopień reakcji na ciepło oraz wzrost temperatury można wyodrębnić trzy podstawowe strefy na krzywej ubytku masy: hemiceluloza, która jest składnikiem najbardziej reaktywnym i charakteryzuje się najwyższym stopniem degradacji w obszarze temperatur: 225-325°C, celuloza, druga obok hemicelulozy frakcja w budowie biomasy ulega procesowi rozkładu w wyniku procesu toryfikacji w zakresie temperatur 300-325 °C i lignina, której zakres temperaturowy ubytku masy jest największy i wynosi od 250 do 500 °C. Tłumaczy to dlaczego w procesie uwęglania biomasy, którego zakres temperaturowy wynosi od 200 do 300 °C, największy ubytek masy czasie jest zauważalny przy dekompozycji dwóch składnikach biomasy drzewnej - w ligninie i hemicelulozie a najmniejszy przy degradacji celulozy. Stosunek udziałów hemicelulozy, ligniny oraz celulozy w biomacie ma bardzo duży wpływ na jakość lotnych produktów toryfikacji [10].

<i>Właściwości</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Drewno</i>	<i>Toryfikat</i>	<i>Pelet drzewny</i>		<i>Pelety toryfikatu</i>	
				<i>Niska</i>	<i>Wysoka</i>	<i>Niska</i>	<i>Wysoka</i>
<i>Zawartość Wilgoci</i>	<i>%W</i>	<i>35%</i>	<i>3%</i>	<i>10%</i>	<i>7%</i>	<i>5%</i>	<i>1%</i>
<i>Wart. Opalowa</i>							
<i>Sucha</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>17.7</i>	<i>20.4</i>	<i>17.7</i>	<i>17.7</i>	<i>20.4</i>	<i>22.7</i>
<i>Pierwotna</i>	<i>MJ/kg</i>	<i>10.5</i>	<i>19.9</i>	<i>15.6</i>	<i>16.2</i>	<i>19.9</i>	<i>21.6</i>
<i>Gęstość</i>	<i>Kg/m³</i>	<i>550</i>	<i>230</i>	<i>500</i>	<i>650</i>	<i>750</i>	<i>850</i>
<i>Gęstość energetyczna</i>	<i>GJ/m³</i>	<i>5.8</i>	<i>4.6</i>	<i>7.8</i>	<i>10.5</i>	<i>14.9</i>	<i>18.4</i>
<i>Wytrzymałość pelet</i>		<i>-</i>	<i>-</i>	<i>Dobra</i>		<i>bardzo dobra</i>	
<i>Formacje popiołu</i>		<i>normalna</i>	<i>wysoka</i>	<i>Ograniczona</i>		<i>ograniczona</i>	
<i>Natura Hydroroskopowa</i>		<i>bardzo wysoka</i>	<i>hydrofobowa</i>			<i>hydrofobowa</i>	
<i>Biologiczna degradacja</i>		<i>możliwa</i>	<i>niemożliwa</i>	<i>Możliwa</i>		<i>niemożliwa</i>	
<i>Wpływ sezonowych zmian pogody</i>		<i>wysoka</i>	<i>słaba</i>	<i>Normalna</i>		<i>słaba</i>	
<i>Właściwości</i>		<i>normalna</i>	<i>normalna</i>	<i>Dobre</i>		<i>dobre</i>	

Rys.5. Właściwości biomasy drzewnej, przed i po poddaniu procesowi toryfikacji peletu drzewnego a także peletu drugiej generacji TOP Pellets pochodzących z Instytutu ECN (z ang. *Energy Research Center of Netherlands*)

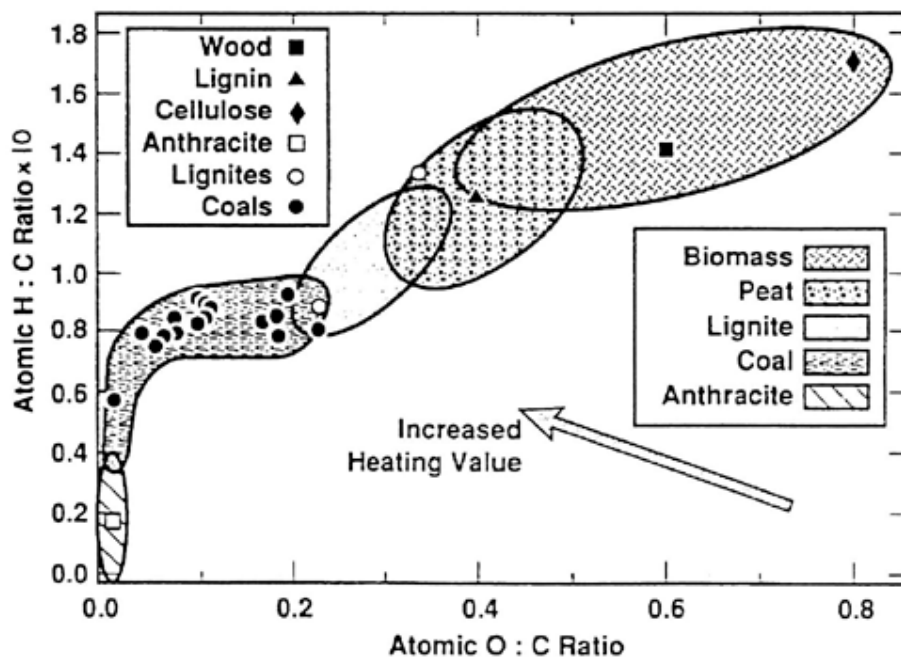
Toryfikacja jest procesem należącym do grupy procesów endotermicznych w wyniku, którego ubytek masy jest na poziomie 30% co odpowiada redukcji wilgoci oraz częściowemu ubytkowi substancji lotnych w postaci tzw. torgazu. Części lotne jakie są wydzielane w procesie prażenia zawierają około 10% energii pierwotnie zawartej w biomacie. Proces toryfikacji biomasy realizuje się w odpowiednio do tego zaprojektowanym reaktorze fluidalnym, piecu opadowym lub analizatorze termogravimetrycznym – TGA. Funkcjonują dwie metody dostarczania energii cieplnej do reaktora, w którym realizuje się proces toryfikacji: jeden z nich polega na doprowadzeniu ciepła do komory, w którym znajduje się biomasa w sposób pośredni, jak na przykład przeponowe dostarczanie ciepła przez nośniki energii w postaci spaliny, para wodna, woda lub olej. Drugi sposób polega na bezpośrednim przekazywaniu ciepła do biomasy przez gaz reaktorowe pochodzące na przykład z suszarni fluidalnych, zgazowywarek oraz spalin reaktory bezpośrednie. Wykorzystując do

przeprowadzenia procesu toryfikacji analizatory termogravimetryczne możemy uzyskać dynamiczne warunki z zaprogramowaną przez nas prędkością nagrzewu, minusem jednak przeprowadzania toryfikacji i badań nad jej optymalnymi warunkami musimy wiedzieć, że prędkości nagrzewu w warunkach rzeczywistych są znacznie większe w zgazowywarkach i dużych komorach spalania niż te dostępne podczas analizy TGA. Typową prędkością nagrzewu, którą się wykorzystuje w analizie termogravimetrycznej to 10 K/min, natomiast optymalnym czasem toryfikacji w reaktorze według wielu badań wynosi 30 minut. Ponieważ mogą występować różne czasy przebywania toryfikatu w reaktorze, rodzaju i gatunku biomasy a także co najważniejsze od stopnia zawilgocenia, stosunek ubytku masy do ubytku energii może się różnić, najczęściej uzyskuje się 30 % zgęszczenia energii dla prażenia biomasy przeprowadzonej w wyżej wymienionych warunkach. Przy analizie TGA należy pamiętać o tym, iż dana prędkość nagrzewu wpływa na limitacje związane z wymianą ciepła oraz utrudnia analizę kinetyki spalania. Niska prędkość nagrzewu sprawia, iż próbki z biomasą drzewną podgrzewane od temperatury otoczenia do temperatury przy, której proces toryfikacji zachodzi jest powodem pierwszego etapu dekompozycji, natomiast zbyt wysoka prędkość nagrzewu jest główną przyczyną powstawania problemów związanych z ograniczeniem wymiany ciepła badanej próbki. Odpowiednio dobry kontakt gorącego czynnika z toryfikowanym materiałem w reaktorze bezpośrednim możliwe jest stosowanie krótszych czasów przebywania próbek biomasy co niestety jest dużo trudniejsze w praktyce. Istnieje szereg rodzajów reaktorów podobnych do pieca obrotowego lub reaktora ślimakowego z możliwością użycia torgazu powstałego w wyniku toryfikacji jak czynnika gazowego do wstępnego podsuszenia biomasy. Skład torgazu to przede wszystkim palne składniki organiczne oraz część składników niepalnych takich jak dwutlenek węgla lub woda. Zawartość części palnych i niepalnych torgazu związana jest z zawartością wilgoci w biomacie oraz od parametrów przeprowadzania samego procesu toryfikacji. Torgaz zawiera w swoim składzie około 50% wody, 10% dwutlenku węgla, metan i niewielkie udziały kwasów formaldehydowych, duża zawartość wilgoci co sprawia problemy w wykorzystaniu go jako strumienia ciepła do procesu [11].



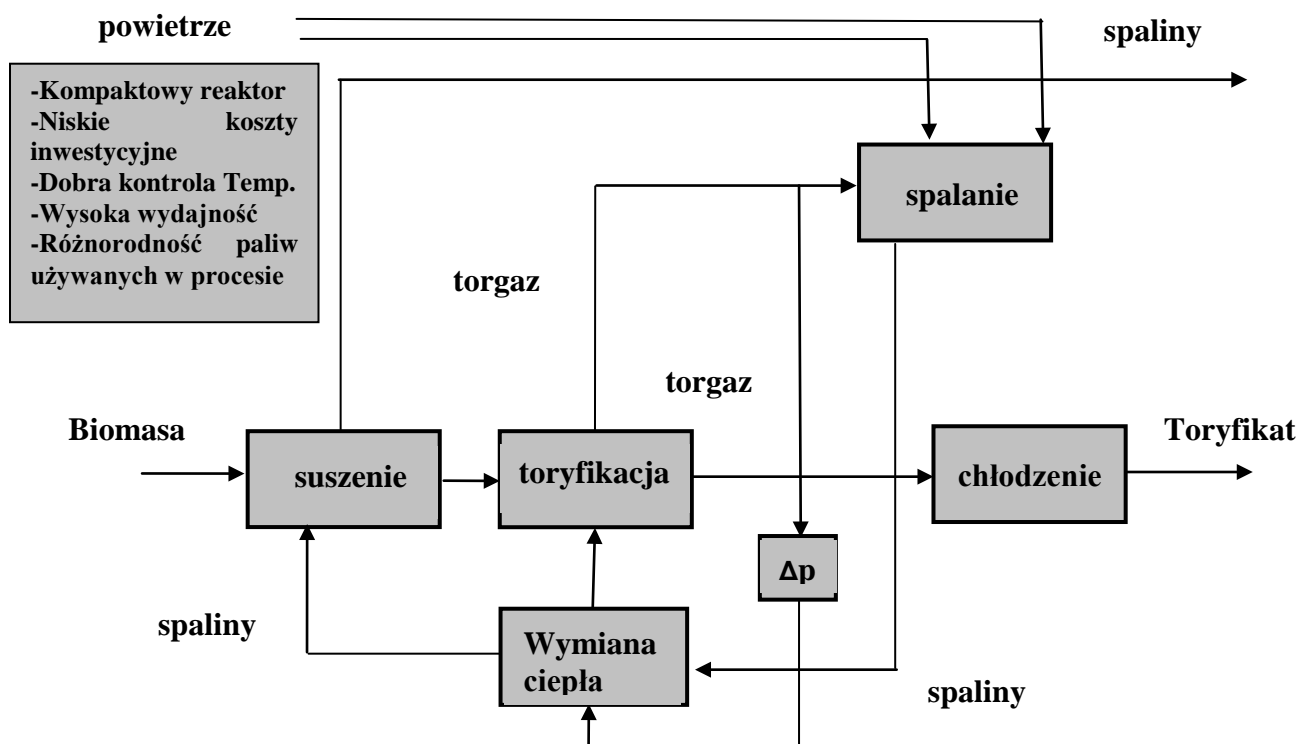
Rys.6. Schemat reaktora do procesu toryfikacji biomasy

Podczas procesu toryfikacji węgla dochodzi do drastycznego ubytku pierwiastków wodoru oraz tlenu (degradacja grup OH) porównując do ubytku pierwiastka węgla co powoduje, iż powstałe biopaliwo staje się węglopodobną materią właściwościami paliwowymi zbliżonymi do węgla i dlatego jest potocznie nazywana tzw. biowęgłem. Niższa proporcja tlenu do węgla powoduj, iż gazyfikacja toryfikatu jest bardziej wydajna w stosunku do gazyfikacją biomasy nieprzetworzonej. Storyfikowana biomasa pochodzenia drzewnego charakteryzuje się wartością opałową na poziomie 18 do 23 MJ/kg. Niska zawartość wilgoci w biowęgłu (1-6%) sprawia, że różnica pomiędzy wartością opałową a ciepłem spalania jest niewielka. Toryfikat drzewny jaki otrzymuj się z procesu karbonizacji ze ścinek biomasy drewna odpadowego a także porozbiórkowego posiada podobne właściwości fizyko-chemiczne. Toryfikat nie jest pozbawiony wad, w jego wyniku nie możemy mówić o wzroście gęstość energetyczna paliwa, co sprawia, że w praktyce należy produkować pelet z biomasy, która została poddana toryfikacji . Pelet utworzony z toryfikatu (z ang. *torrefied pellets*) odznacza się wysoką gęstością energetyczną, jest odporny na chłonięcie wilgoci oraz nie wymagają specjalnej infrastruktury do składowania i magazynowania tak jak w przypadku zwykłego peletu. Biowęgiel, który został poddany procesowi prażenia, oraz który posiada silną naturę hydrofobową wynikającą z degradacji grup OH w porównaniu do peletu toryfikatu nie jest tak trwały i łatwy do magazynowania i transportu co w konsekwencji ogranicza jego zastosowanie w pyłowych kotłach węglowych bądź w kotle ze złożem fluidalnym. Pelet z toryfiaktu może być za to śmiało wykorzystywany w procesie spalania oraz współspalenia w wyżej wymienionych kotłach dzięki takim pozytywnym zjawiskom jak skrócony czas zapłonu części lotnych oraz koks. Jednak nawet tak wysoce zaawansowane technologie przygotowania biomasy do współspalania z węglem nie likwidują kłopotów związanych tworzeniem się osadów na ściankach wymienników i ekranów kotła oraz korozją. W chwili obecnej proces toryfikacji nie jest jeszcze wykorzystywany w skali komercyjnej ze względu na zbyt słabe poznanie optymalnych warunków toryfikacji a także wciąż wysokie koszty wprowadzenia tego procesu do łańcucha produkcji energii elektrycznej i ciepła .



Rys.7. Wykres Van Krevelena przedstawiający zależności od składu różnych typów paliw H/C – wodór/węgiel, O/C - tlen/węgiel.

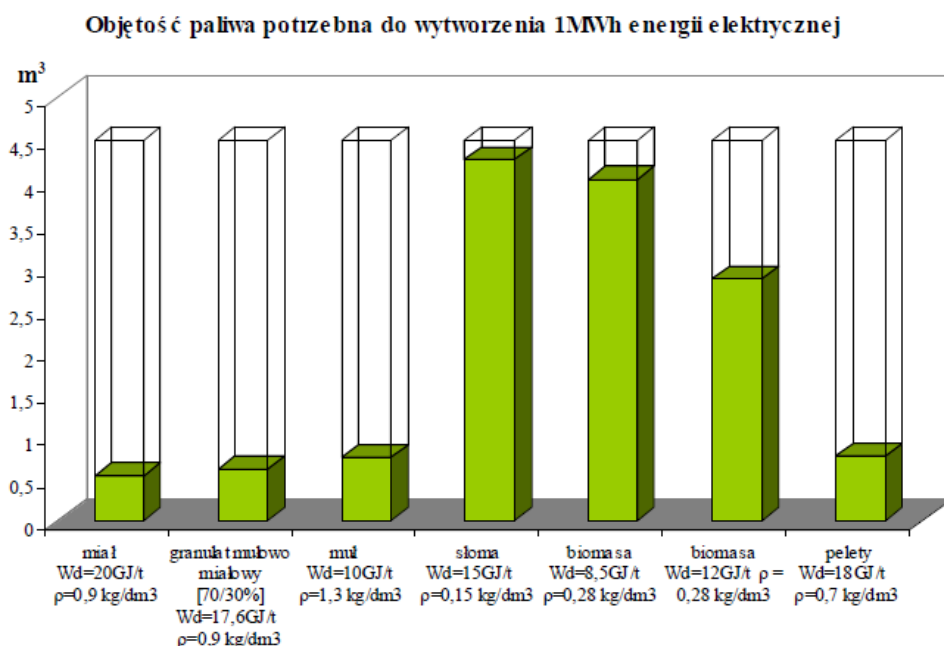
W naszym kraju prowadzone są również badania na procesem toryfikacji biomasy, wśród instytucji pracujących nad tym zagadnieniem są między innymi: Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, Politechnika Wroclawska (Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów), Instytut Energetyki (Pion Ciepły) w Warszawie, Politechnika Łódzka (Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa) oraz Katedra Inżynierii Energii Politechniki Częstochowskiej, w której pracuje reaktor umożliwiający przeprowadzenie procesu autonomicznej karbonizacji biomasy (zrębki drzewne, słoma, wierzba energetyczna, trociny, mączka mięsno kostna a także osady ściekowe oraz inne). Najważniejszym zadaniem reaktora jest utrzymanie optymalnych warunków przepływowych, aby w przestrzeni jego komory, w której dochodzi do reakcji toryfikacji, uzyskać maksymalną szybkość nagrzewu rozdrobnionej biomasy (ok. 280 °C) tak by zainicjować reakcję egzotermiczną. Reaktor ten został tak zaprojektowany aby trwale i w sposób niezawodny i wydajny utrzymać warunki przebiegu reakcji egzotermicznej, reaktor został tak skonstruowany żeby zminimalizować kontakt karbonizatu z gazami pirolitycznymi. Gazy jakie powstają w wyniku uwęglania biomasy opuszczają reaktor i są spalane, ułatwia to kontrolę ich temperatury a także stabilizuje pracę reaktora. Dodatkowym atutem tego typu konstrukcji reaktora jest specjalny układ suszenia i termolizy, dzięki któremu można uzyskać dodatkowe ciepło z gorących spalin opuszczających reaktor. Ilość tego ciepła związana jest z zawartością wilgoci w dostarczanej biomacie .



Rys.8. Schemat obrazujący proces bezpośredniej toryfikacji termicznej technologii ECN

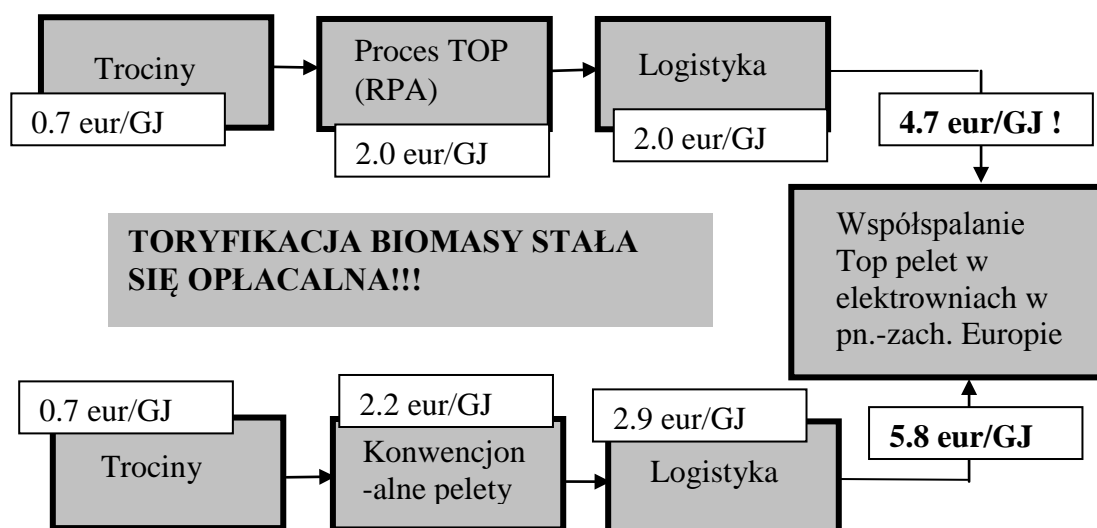
7) Peletyzacja z toryfikacją biomasy. Połączenie peletyzacji biomasy z procesem toryfikacji daje najlepszy produkt odznaczający się dobrymi właściwościami paliwowymi i pozwala rokować dobrze na przyszłość dla biomasy, która mogła by jako alternatywne źródło energii

stac się w najbliższej rzeczywistości częściowym bądź całkowitym substytutem paliwowym dla węgla. Największymi osiągnięciami naukowymi w dziedzinie peletyzacji toryfikatu może się poszczycić holenderki Instytut Naukowy ECN – *Energy Research Center of Netherlands*, w którym to centrum opatentowano metodę peletyzacji toryfikatu pod nazwą technologii ECN. Metoda ta polega na zastosowaniu do procesu toryfikacji biomasy reaktora typu bezpośredniego, w którym to pod wpływem gorących gazów powstających w wyniku toryfikacji (tzw. torgaz) toryfikat zostaje dodatkowo przetworzony. Produktu lotne prażenia biomasy o nazwie torgaz posiadają około 10% energii pierwotnej zawartej w częściach lotnych biomasy, które to w optymalnych warunkach mogą zostać wykorzystany do wstępnego podsuszenia biomasy a następnie do samego procesu karbonizacji. Optymalne warunki to warunki, przy których zawartość wilgoci jest na poziomie 15 do 20%.

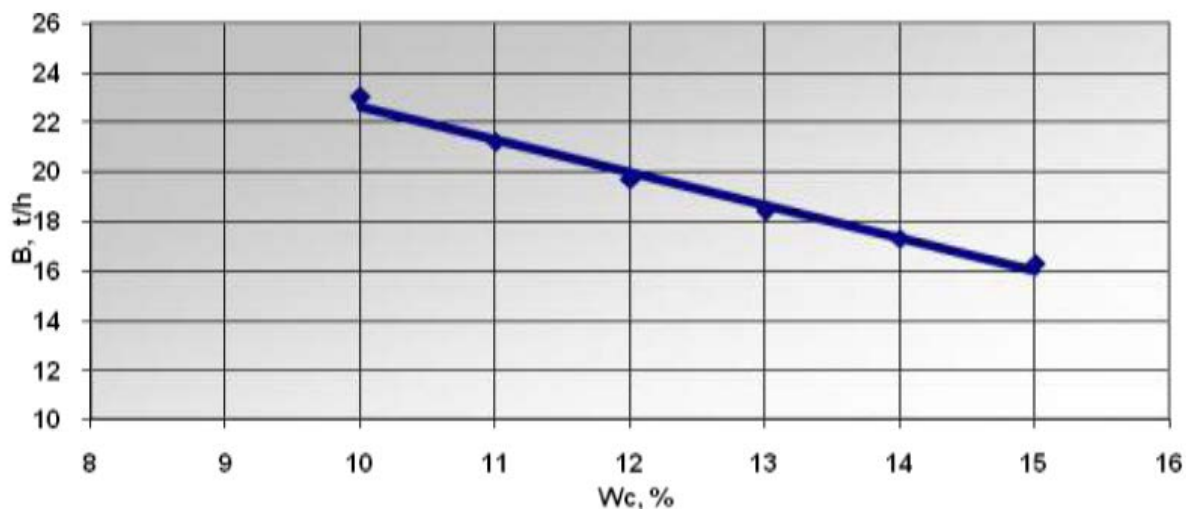


Rys.9. Wykres obrazujący porównanie objętości paliw alternatywnych w celu wytworzenia 1MWh energii elektrycznej

Po bankructwie głównego inwestora technologii ECN firmy Econcert, odpowiedzialnego za budowę demonstracyjnej instalacji wykorzystującej technologię ECN pojawił się nowy inwestor, szwedzki Vattenfall, który będzie odpowiedzialny za budowę elektrowni z wykorzystaniem współspalania biopaliwa powstałego na bazie technologii ECN do roku 2012. Dzięki zintegrowaniu dwóch metod wstępnej obróbki biomasy, to jest peletyzacji z termiczną toryfikacją powstaje paliwo węglopodobne charakteryzujące się hydrofobową naturą, wysokim zagęszczeniem energii (od 16 do 20 GJ/m³) oraz polepszonymi właściwościami przemiałowymi przynoszącymi oszczędności w zużyciu energii na mielenie surowców pierwotnych [12].

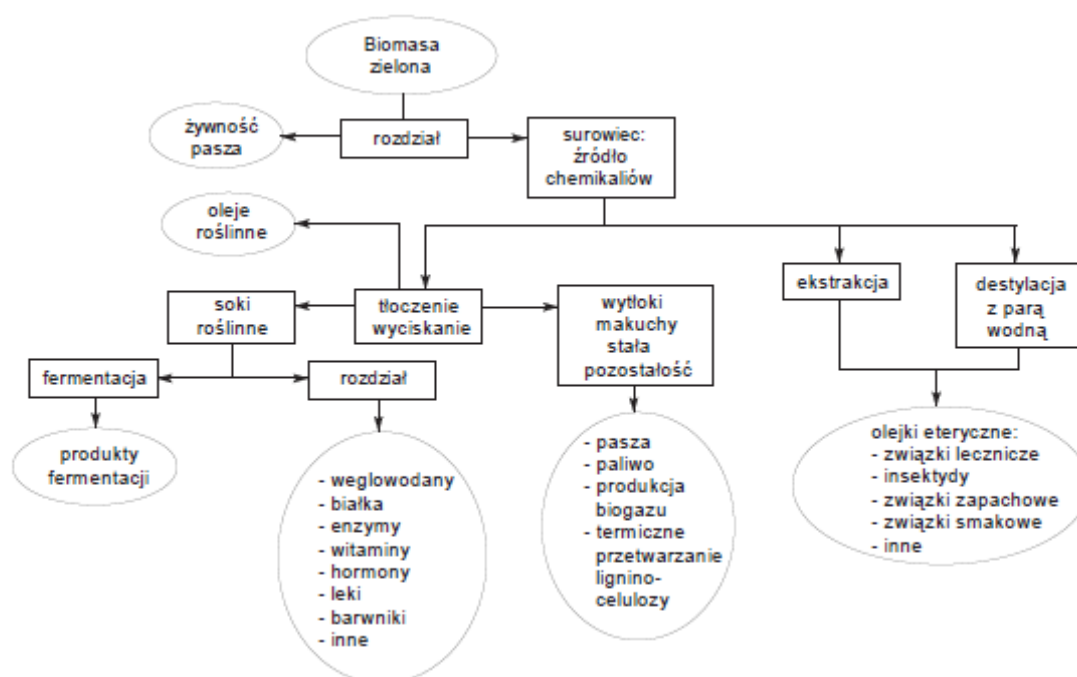


Rys.10. Schemat obrazujący koszty współpalania pelet toryfikatu i zwykłych pelet w przeliczeniu na euro/GJ.



Rys.11. Wykres przedstawiający zmianę wydajności młyna w zależności od stopnia zawilgożenia paliwa $t_m = 100\text{ }^\circ\text{C}$, $t_{pg} = 280\text{ }^\circ\text{C}$ oraz $V_m = 32000\text{ Nm}^3/\text{h}$

8) Hydroliza biomasy. Istnieje szereg procesów hydrolizy biomasy, proces termicznej hydrolizy biomasy to proces w którym długie łańcuchy cząsteczek hemicelulozy i celulozy ulegają redukcji w środowisku wodnym w wyniku dostarczenia energii cieplnej. Hydroliza to kolejna z metod obróbki wstępnej biomasy podczas której uzyskuje się etanol lub biogaz [13]. Biomasa, która zbudowana jest z hemicelulozy, celulozy i ligniny ulega konwersji do biopaliwa, w trakcie procesu fermentacji celuloza ulega przemianie w cukry, które z kolei są przekształcane w biogaz bądź etanol. Każdy z rodzajów biomasy jest potencjalnym materiałem do produkcji biopaliwa, tzw. biopaliwa pierwszej generacji w wyniku hydrolizy stają się materiałem bogatym w cukry, z których w wyniku kolejnej obróbki produkuje się biogaz i etanol [14]. Największym producentem na świecie bioetanolu pierwszej generacji są: Brazylia, w której używa się trzciny cukrowej w celu pozyskania cukrów do produkcji etanolu, USA, gdzie skrobia kukurydziana jest źródłem cukrów do produkcji etanolu, Europa, w której skrobia pszenna stanowi główne źródło do wytwarzania bioetanolu. Dużą wadą bioetanolu pierwszej generacji jest to, iż produkuje się go z roślin uprawnych przeznaczony do spożycia dla człowieka, co w krajach trzeciego świata takich jak Brazylia, Indie czy Chiny oznacza podwyższone zagrożenie głodem w niektórych regionach tych krajów. Najlepszym kandydatem zastępującym rośliny uprawne, którymi żywią się ludzie jest biomasa drzewna typu ligninocelulozowego. Każdy rodzaj biomasy, w której składzie znajduje się lignina, celuloza i hemiceluloza jest dobrym źródłem do produkcji etanolu, ponieważ celuloza i hemiceluloza zbudowana jest z polimerów cukrów i wolnych cząsteczek cukrów, które można zamienić w bioetanol lub biogaz wykorzystując tradycyjne metody fermentacji. Biomasa typu drzewnego występuje na Ziemi w olbrzymiej ilości, w związku z czym jest bardziej atrakcyjnym źródłem mogącym być używanym do produkcji etanolu i energii z tego biopaliwa. W celu przetworzenia biomasy celulozowej należy zastosować takie procesy jak hydroliza w celu przełamania bariery krystalicznej jaką tworzy struktura ligniny okalająca celulozę i hemicelulozę biomasy drzewnej. Dodatkowym problemem jest podzielenie polimerów celulozy i hemicelulozy na podstawowe składniki jakimi są cukry i wprowadzenie różnych mikroorganizmów, które będą powodować fermentację tych cukrów.



Rys.10. Schemat obrazujący procesy oraz produkty z tzw. biorafinerii zielonych[13]

Tradycyjny proces termicznej hydrolizy biomasy polega na podgrzewaniu biomasy pod temperaturą 160 °C do 180 °C i wysokim ciśnieniem. Problemem w trakcie procesu hydrolizy jest fakt, że biomasa posiada duże ilości fosforu, chloru, i innych substancji silnie korodujących i negatywnie wpływających na funkcjonowanie wymienników ciepła. Specjalne wymienniki ciepła HRS mają pomóc w rozwiązaniu problemów korozji spowodowanej wysoką temperaturą i ciśnieniem. Tego typu wymiennik jest szeroko stosowany w produkcji żywności i procesie przemysłowej, którego stosowanie znacznie ogranicza zużycie energii w trakcie procesu.

3. PORÓWNANIE TECHNIK WSTĘPNEJ OBRÓBKI BIOMASY

Przedstawione w artykule techniki konwersji biomasy wstępnego przygotowania biomasy pozytywnie wpływają na właściwości biomasy jako paliwa spalanego wspólnie z węglem w przemysłowych kotłach energetycznych [15]. Procesy suszenia, rozdrabniania, brykietowania, peletyzacji, toryfikacji oraz pirolizy są metodami konwersji biomasy, które przekształcają biomasę w bardziej węglopodobną materię oraz paliwo o lepszych właściwościach do spalania. Jedyną z metod przekształcania biomasy, która zawiera takie etapy jak: suszenie paliwa, rozdrabniania, peletyzacji i toryfikacji (prażenie biomasy) powodują, iż właściwości biomasy ulegają głębokiej modyfikacji termicznej co w konsekwencji prowadzi do powstania nowej jakości biopaliwa o lepszych właściwościach paliwowych i w praktyce jest opłacalne a także powinno być w niedługim czasie technicznie możliwe do zrealizowania w konwencjonalnych elektrowniach i elektrociepłowniach. Jedną z opisanych holenderskich technologii o nazwie ECN polega na autotermicznej waloryzacji paliw z grupy biomasy drzewnej (słoma, trociny, wierzba energetyczna, zrębki drzewne, rośliny z upraw jednorocznych), w którym to procesie przeprowadzane jest wysokoefektywne suszenie a następnie uwęglanie w atmosferze pozbawionej tlenu, dzięki termo-chemicznej konwersji biomasy do postaci biowęgla [16]. Dzięki technologii ECN powstaje produkt o nazwie z ang. *TOP Pellet*, który jest peletem karbonizatu biomasy charakteryzującym się właściwościami fizykochemicznymi bliskimi węglu i jest paliwem należącym do tzw. peletu drugiej generacji (*TOP Pellet* charakteryzuje się wartością opałową w stanie roboczym na poziomie 25 MJ/kg przy zawartości pierwiastka węgla wynoszącej 80% oraz zawartości wilgoci sięgającej 1%) . Inną zaletą powstałego peletu z toryfikatu jest wysoka reaktywność biomasy oraz mocno obniżona zawartość zanieczyszczeń (zawartość siarki <0,1%, niewielka koncentracja pierwiastka rtęci oraz chloru) [17]. Produkt, który powstał w trakcie procesu ECN jest odznacza się porównywalnymi właściwościami jak słabe jakości węgiel brunatny i może bez żadnych przeszkód być wprowadzany do kotła przy użyciu tej samej infrastruktury transportowej co węgiel a następnie podlegać spalaniu lub procesowi współspalania z węglem w każdej ilości oraz w dowolnym rodzaju kotła (np. rusztowym, pyłowym czy w kotle ze złożem fluidalnym). Ten rodzaj metody konwersji biomasy przyczynia się do optymalnego procesu współspalania biomasy oraz obniża praktycznie koszty inwestycyjne jakie są związane z rozbudową, utrzymaniem oraz eksploatacją dodatkowego układu podawania biomasy do paleniska. Toryfikat posiada bardzo zbliżone właściwości do węgla dzięki czemu można stosować nie 10% udziału biowęgla w głównym strumieniu paliwa do kotła lecz 20% lub nawet 30%, co do tej pory było maksymalną wartością udziału biomasy przy współspalaniu, bariery która wiąże się z ograniczeniem wydajności młynów spowodowanej złą przemialowością biomasy również przy mieleniu biowęgla zostały by pokonane ze względu na polepszone właściwości przemialowe [18]. Bardzo istotną zaletą karbonizatu jest możliwość produkowania z niego pelet drugiej generacji takich jak na przykład holenderskie

TOP Pellet, peletu który jest trwalsze oraz bardziej kaloryczny a także ma naturę hydrofobową przez co nie jest narażony na chłonięcie wody z otoczenia i procesy gnilne co pozwala na znacznie łatwiejsze magazynowanie oraz transport w porównaniu do peletu z biomasy nieprzetworzonej. Technologia toryfikacji jest coraz bliższa komercjalizacji, jej produkt jest bardzo oczekiwany w energetyce. W Holandii i we Francji w roku 2012 planowane są dwa oddania do użytku elektrociepłowni dużej mocy wykorzystujące proces toryfikacji i współspalania biomasy [19][20]. Również w naszym kraju widać bardzo duże zainteresowanie firm energetycznych tą technologią, jedna z firm o nazwie KRAWIETZ Sp. Z o.o. z Lublina planuje budowę tzw. bioelektrociepłowni. Firma realizuje przedsięwzięcia inwestycyjne w zakresie odnawialnych źródeł energii, paliw z biomasy i energii z odpadów i chce być jedną z pierwszych firm wykorzystujących w skali komercyjnej proces toryfikacji. Najważniejszym z głównych celów działalności spółki KRAWIETZ jest wybudowanie bioelektrociepłowni EEC o mocy wynoszącej 100 MW wraz z dodatkowym systemem technologicznym przeznaczonym do produkcji biowęgla przy użyciu tzw. w technologii BO2 bazującej na konwersji biomasy z wykorzystaniem procesu toryfikacji. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego oraz Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. nakłada obowiązek wykorzystania biomasy jako źródła energii. Osiągnięcie przez Polskę 15 proc. udziału energii odnawialnej jest obowiązkiem do zrealizowana przed 2020 rokiem wynikającym z ustaleń Unii Europejskiej, m.in. z pakietu klimatyczno-energetycznego. Biomasa jako paliwo alternatywne ma olbrzymi potencjał rozwojowy dla zastosowań energetycznych dzięki możliwości formowania biopaliw i uzyskania w technologii BO2 tzw. biowęgla.

Wyszczególnienie	Kosztowny transport, przechowywanie	Straty masy (energii) podczas przechowywania	Zagrożenia dla bezpieczeństwa podczas przechowywania	Problemy ze współmieleniem	Problemy z użytkowaniem istniejącej infrastruktury	Korozja	Formacja depozytów, aglomeracja
Suszenie	o	++	++	x	x	o	o
Rozdrabnianie	+	—	—	+	+	o	o
Balotowanie	++	+	+	x	x	o	o
Brykietowanie	+++	++ ¹	++ ¹	++	+	o ²	o ²
Peletyzacja	+++	++ ¹	++ ¹	++	++	o ²	o ²
Torefakcja	o	+++	+++	+++	+	+	o
Torefakcja + peletyzacja	+++	+++	+++	+++	+++	+	o ²
Płukanie	o	o	o	o	o	+++	+++
Szybka piroliza	+++ ³	+++ ³	+++ ³	+++ ³	+++ ³	—	+
Piroliza + płukanie	+++	x	x	+++	+++	+++	+++

Tab.1. Rola obróbki wstępnej w zapobieganiu typowym problemom w systemach energetycznych wykorzystujących biomasę.

(+) niewielka poprawa

(++) znaczna poprawa

(+++) bardzo duża poprawa

(--) negatywny wpływ

(o) bez znaczenia

(x) brak danych

Literatura:

- [1] Ricketts B., et. Al. 2002: Technology Status Review of waste/Biomass Co-Gasification with Coal, Ichem Fift European Gasification Conference, 8-10 April 2002, Noordwijk, The Netherlands.
- [2] A. Zawadzka, M. Imbierowicz i inni, 2010: Inwestowanie w Energetykę Odnawialną, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, str.169-184.
- [3] A. Cocker-Maciejewska: Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych, Ochrona środowiska i zasobów naturalnych nr 30, 2007, str.133-141.
- [4] <http://www.slupinski.pl/drewno.php>
- [5] M. Jakubiak, W. Kordylewski: Toryfikacja Biomasy, Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Wrocław 2009.
- [6] Lipinsky, E; Arcate, J.; and Reed T. 2002. Enhanced wood fuels via torrefaction. Fuel Chemistry Preprints 47
- [7] James, J. 2010. Using torrefied wood as a coal replacement, for superior pellets and cellulosic ethanol production. Agri-Tech Producers, LLC; Columbia, SC. (presentation)
- [8] Bridgeman T.G., Jones J.M., Shield I., Williams P.T., Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties, FUEL, 87 (2008) 844-856.
- [9] M. J. Prins: Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction, Technische Universitet Eindhoven, The Netherlands.
- [10] M. Ściążko, J. Zuwała, M. Pronobis: Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce. Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechniki Śląskiej, Zabrze-Gliwice 2007.
- [11] Jyuung-Shauu Cher, Allan N.Hayhurst: A simple theoretical analysis of the pyrolysis of an isothermal particie of coal, Combustion and Flame 157 (2010) 925-933, Department of Chemical Engineering and Biotechnology, University of Cambridge, UK.
- [12] Pach, M., Zanzi, R., and Björnbohm, E., 2002. Torrefied biomass as substitute for wood and charcoal, in Ani, F.N., et al. (ed.), 6th Asian-Pacific Int. Symp. on Combustion and Energy Utilization, Proc. Int. Conf., Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 285-290.
- [13] <http://www.hrs-heatexchangers.com/pl/wnioski/przemysl/thermal-hydrolizy-biomasy-biogaz-biopaliwa-bioetanolu>, Termiczna hydroliza biomasy
- [14] J. Taler i inni: Procesy cieplne i przepływowe w dużych kotłach energetycznych, Modelowanie i monitoring, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010
- [15] S. Jimenez, P. Remacha, J. C. Ballesteros, A. Gimenez, J. Ballester: Kinetics of devolatilization and oxidation of a pulverized biomass in an entrained flow reactor under realistic combustion conditions, Combustion and Flame 152 (2008) 588-603
- [16] Skodras G., Grammelis P., Kakaras E., Sakellariopoulos G.P. 2004: Evaluation of the environmental impact of waste wood co-utilization for energy production, Energy 29 (2004), 2181-2193.
- [17] Sjaak van loo, Jaap Koppejan: The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing
- [18] F. R. Calle, P. de Groot, S. L. Hemstock, J. Woods: The Biomass Assesment Handbook, Bioenergy for sustainable environment

[19] Thermya. 2010. A continuous torrefaction process from France. Accessed 4/27/2010 at www.thermya.com.

[20] <http://www.topellenergy.com/technology>