

# METODY WSTĘPNEGO PRZYGOTOWANIA BIOMASY DO WSPÓLSPALANIA Z WĘGLEM W KOTŁACH ENERGETYCZNYCH

**Szymon Szufa**

Politechnika Łódzka, Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa

## **Streszczenie**

W pracy zostały scharakteryzowane metody wstępnego przygotowania biomasy a dokładniej obróbka cieplna wybranych typów fitomasy, biomasy drzewnej. Wzrost udziału współspalania biomasy w elektrowniach i elektrociepłowniach konwencjonalnych opalanych węglem jest efektywną i szybką do zastosowania metodą służącą redukcji emisji dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> i dwutlenku siarki SO<sub>2</sub>. Aby zwiększyć udział biomasy do 30% a nawet do 50% w ogólnym bilansie paliwa spalane w dużych kotłach energetycznych cząsteczki biomasy muszą być w sposób ekonomicznie opłacalny zmielone do rozmiarów przy których osiągną wartość opałowa zbliżoną do wartości opałowych 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.

## **1. Wstęp**

Konwencjonalne elektrownie i elektrociepłownie wykorzystujące głównie węgiel kamienny i brunatny jako paliwa podstawowe w ogólnym bilansie energetycznym w znacznej mierze przyczyniają się do zanieczyszczenia środowiska naturalnego oraz mają duży wpływ na zaburzenie efektu cieplarnianego. Dyrektywy Unii Europejskiej, która nakazuje krajom członkowskim jaki powinien być udział odnawialnych źródeł energii w ich ogólnym bilansie energetycznym, określiły 20% redukcję emisji CO<sub>2</sub> na kolejne 10 lat. W związku z zaistniałą sytuacją rośnie zainteresowanie biomasą jak paliwem dodatkowym obok węgla głównego paliwa spalane w kotłach energetycznych, która to mogła by w sposób szybki pomóc w lepszej dywersyfikacji paliw oraz wypełnić określony na rok 2020 zakładany 15% udział OZE w całkowitym bilansie zużycia energii. Wykorzystanie biomasy jako głównego paliwa w systemie energetycznym jest rzeczywiście według ekspertów rozwiązaniem pozytywnie wpływającym na środowisko naturalne. Istnieje natomiast szereg obaw w związku z wykorzystaniem biomasy jako jedyne źródła paliwa w danym bloku cieplnym ze względu na stabilność dostaw paliwa i jego jakość. Zasoby paliw kopalnych z roku na rok się kończą natomiast biomasa drzewna stanowiąca 90% całej biomasy na Ziemi nie licząc biomasy bakteryjnej stanowi obiecujące źródło energii alternatywne dla węgla, niestety zasoby biomasy są bardzo często rozproszone, jej ilość jest uzależniona od czynników pogodowych i bardzo często infrastruktura transportowa jest bardzo słabo rozwinięta [1]. Swoją dobrą pozycję wśród paliw wykorzystywanych w energetyce biomasa zawdzięcza przede wszystkim faktowi, który jest bardzo istotny ze względów ekonomicznych, uzyskanie energii cieplnej i

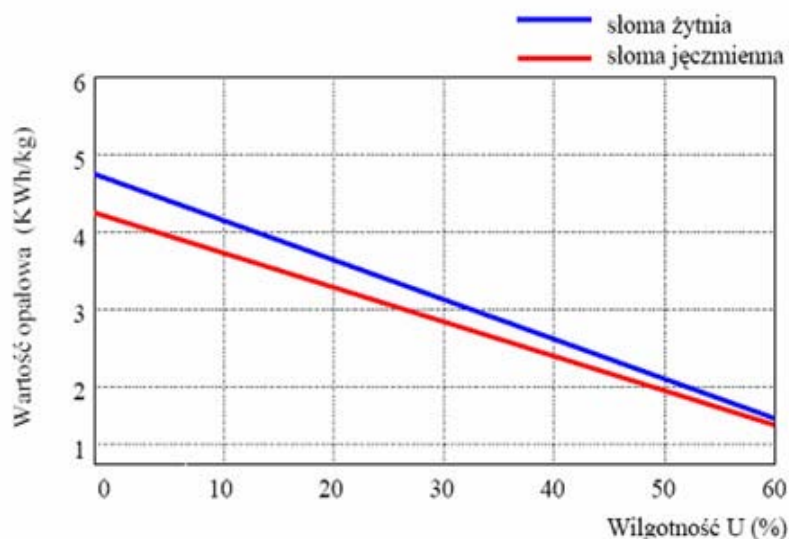
elektrycznej z biomasy nie jest procesem wysoce kapitałochłonnym. Istnieje wiele technologii wykorzystania biomasy, którą łatwo przetwarza się do stałej, płynnej lub gazowej postaci. Z energetycznego punktu widzenia zasoby biomasy można podzielić na dwie grupy, pierwszą grupę stanowią nośniki energii w fazie stałej, które mogą ulegać procesowi spalania, pirolizy a także tlenowo-parowego zgazowania do mieszaniny dwutlenku i tlenku węgla, metanu i wodoru. Taki gaz można zamienić w energię cieplną i elektryczną wykorzystując technologie dobrze poznane ale także do metanolu, czyli paliwa silnikowego wg. znanej i szeroko stosowanej w przemyśle technologii Fischera-Tropscha. W drugiej grupie znajdują się te zasoby, które można przetwarzać w paliwa płynne i biogaz, będący przede wszystkim mieszaniną metanu i dwutlenku węgla [2].

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. W instalacjach, w których stosuje się współspalanie biomasy z węglem, można zauważyć stabilizację systemu, kompensację okresowych zmian ilości i jakości biomasy. Koszty inwestycyjne oraz operacyjne współspalania w blokach cieplnych są niższe niż w systemach cieplnych, w których dochodzi do spalania samej biomasy. Dodatkowo współspalanie przynosi wymierne korzyści środowiskowe natomiast ze względu na inne 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 biomacie, 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 cieplnej. 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. Charakterystyka metod wstępnej obróbki biomasy

**Suszenie** biomasy pomaga rozwiązać problemy związane ze składowaniem zbyt wilgotnego materiału takie jak: pleśnienie (może powodować zagrożenie dla zdrowia, alergie), zagrzewanie (zagrożenie zapłonem), rozpad materiałowy (utrata masy suchej i energii), procesy mikrobiologiczne powodujące emisje, obniżenie wartości opałowej. Woda znajdująca się w biomacie musi zostać odparowana w palenisku aby mogło dojść do procesu spalania. Proces suszenia w specjalnych suszarniach jest procesem dosyć kosztownym i wymaga wcześniejszego rozdrobnienia biomasy. 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%. Bardzo korzystne w miarę możliwości jest suszenie naturalne na świeżym powietrzu, jednakże dużą wadą takiego rozwiązania jest zagrożenie ze względów zmian pogodowych. Producenci kotłów na biomasę zastrzegają gwarancję w przypadku gdy paliwo jakim są zasilane ich kotły zawiera zbyt dużą ilość wilgoci. Paliwa wilgotne mogą stanowić zagrożenie dla kotłów grzewczych, szczególnie przy pracy z obciążeniem częściowym. Dobrym i ekonomicznym rozwiązaniem jest zastosowanie solarnej suszarni biomasy, w którym ogrzane energią słoneczną powietrze doprowadzone jest, poprzez specjalnie zaprojektowane dno sitowe, pod spód przyzmy zrębków. Powietrzne kolektory słoneczne posiadają specjalną konstrukcję gwarantującą wysoką sprawność, powietrze zastosowane jako nośnik energii sprawia że nie są potrzebne dodatkowe wymienniki co sprawia iż instalacja jest prostsza i łatwiejsza w eksploatacji.

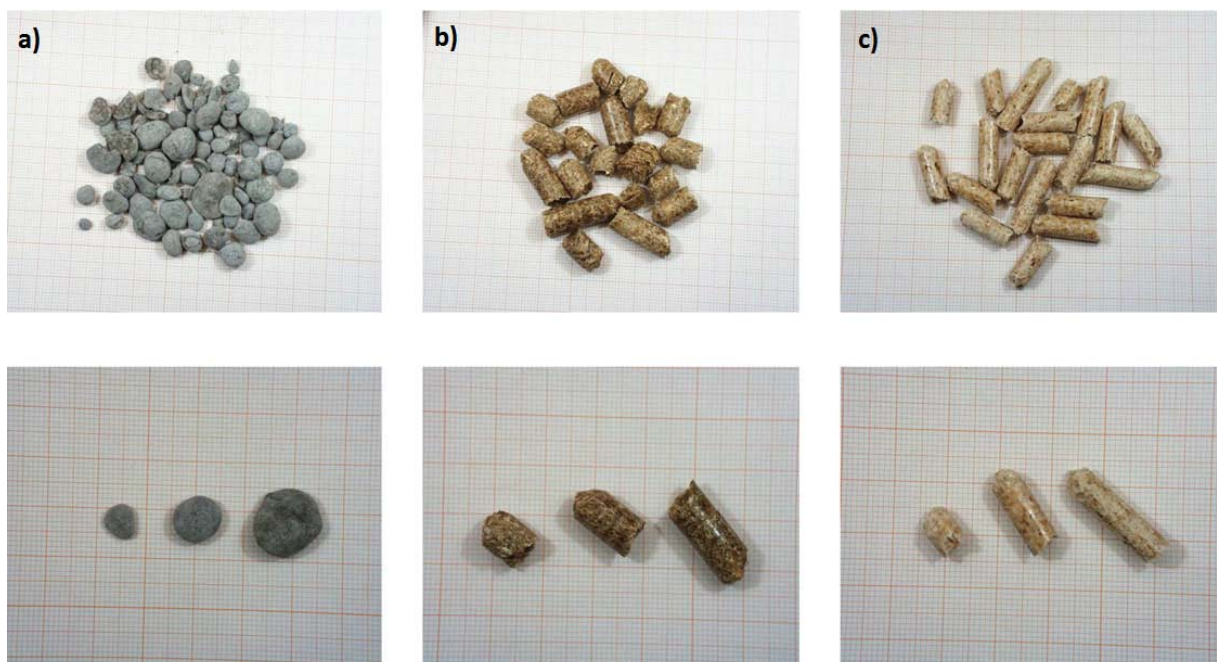


Rys.1. Wykres obrazujący zależność wartości opałowej biomasy drzewnej typu słoma od zawartości wilgoci [4]

**Rozdrabnianie** biomasy poprzez mielenie lub cięcie jest podstawowym i często stosowanym sposobem obróbki wstępnej. Rozdrabnianie stosuje się zazwyczaj przed transportem biomasy aby zwiększyć jej gęstość nasywową oraz aby obniżyć koszty transportu. Niestety magazynowanie rozdrobnionej biomasy może mieć negatywne skutki ze względu na podwyższoną aktywność mikrobiologiczną materiału, która skutkuje utratą suchej masy, emisjami gazów cieplarnianych ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) i nagrzewaniem się hałdy, co w skrajnych

wypadkach może prowadzić do samozapłonu. Dlatego optymalnym wyjściem, niestety nie zawsze możliwym ze względów organizacyjnych, jest rozdrobnienie biomasy bezpośrednio przed jej transportem, a następnie zużycie jej jako paliwa w możliwie najkrótszym czasie.

**Peletyzacja** biomasy jest procesem zagęszczania paliwa do postaci tzw. biopaliwa celem zbliżenia jego właściwości do właściwości węgla. Zagęszczeniu ulegają biomasy typu stałego takie jak: trociny, słoma, ziarna, łuski, wióry, zrębki. Ten rodzaj obróbki biomasy zwiększa jej gęstość energetyczną, powoduje ujednoczenie rozmiarów i kształtów a także obniża zawartość wilgoci co sprawia iż tego typu przetworzona biomasa jest podstawowym biopaliwem dla energetyki zawodowej. Zwiększona gęstość energetyczna biomasy to obniżenie kosztów transportu, lepsze możliwości mieszania z pyłem węglowym w instalacjach z zautomatyzowaną linią podawania paliwa, polepszone właściwości przemiałowe. Peletyzacja biomasy pozwala na zwiększenie stosunku biomasa/węgiel w jej współspalaniu co ma istotny wpływ przy ograniczeniach związanych z wielkością kotła. Technologia ta wywodzi się z technik granulowania szeroko stosowanych w przemyśle chemicznych, paszowych i farmaceutycznych, jednak granulowanie biomasy odbywa się pod większym ciśnieniem. Przed procesem wytłaczania biomasa jest oczyszczana, suszona bądź dowiezana do optymalnej zawartości wilgoci jaką jest 15% a następnie jest rozdrabniana. Czasem dodawane są specjalne substancje wiążące w postaci tzw. *lepiszcza*. Rynek związany z biopelletami rozwija się bardzo szybko, a wraz z nim rozwijana jest technologia otrzymania pelletów. Jednym z problemów pelletów jest wysoka wrażliwość na wodę, gdyż pellety po kontakcie z wodą mogą pęcznieć i rozpadać się, w związku z czym pellety wymagają specjalnych warunków składowania. Pellety należy przetrzymywać w trakcie transportu szczelnych workach a ich składowanie wymaga odpowiedniej infrastruktury (silosów lub zadaszenia), gdyż w innym wypadku pellety ze względu na swoją higroskopijną naturę ulegną biodegradacji. Proces paletyzacji rozwiązuje wiele problemów związanych z różnicami we właściwościach biomasy jako paliwa i węglem ale nie pozwala na całkowitą substitucję węgla. Pellety wciąż wymagają stosowania młynów młotkowych pomimo poprawionej przemiałowości względem świeżej nieprzetworzonej biomasy w celu ich współspalania w kotłach energetycznych przy stosunku biomasa/węgiel wyższym niż 10%.



Rys.2. Biomasa stała : a) Pellety z osadów b) Pellety ze słomy c) Pellety z trocin

**Toryfikacja (karbonizacja biomasy).** Toryfikacja biomasy to inaczej proces wysokotemperaturowego suszenia biomasy celem, którego jest przetworzenie biomasy w biopaliwo o właściwościach bardziej zbliżonych do węgla. Dzięki karbonizacji biomasa typu ligninoceluloza staje się bardziej węglopodobną materią: polepszeniu ulegają właściwości przemiałowe, dzięki którym dochodzi do redukcji wydatków energetycznych na mielenie oraz własności hydrofobowe, które sprawiają, że składowanie biomasy jest bardziej bezpieczne i spada ryzyko degradacji biologicznej. Zmiany te następują w wyniku modyfikacji struktury głównych składników: ligniny i hemicelulozy a także ale w mniejszym stopniu niż dwa wcześniej wymienione składniki celulozy. Toryfikacja to inaczej proces karbonizacji termochemicznej, który jest przeprowadzany w warunkach beztlenowych, w temperaturze około 200 do 300 °C, w warunkach bliskich ciśnieniu atmosferycznemu. Proces toryfikacji nie jest nowym procesem, jest znany od ponad 80 lat i pochodzi od procesu suszenia i prażenia ziaren kawy. Karbonizacja biomasy rozwinęła się od etapu technologii demonstracyjnej dla celów energetyki zawodowej w latach 90 ubiegłego stulecia.



Rys.3. Pelety drugiej generacji toryfikatu biomasy TOP Pellets ECN

Proces toryfikacji jest jednym z etapów obróbki termicznej zachodzącym w dość wąskim zakresie temperatur (200 do 300°C), który prowadzi do zwiększenia gęstości energetycznej biomasy głównie poprzez dekompozycję najbardziej reaktywnego składnika biomasy jakim jest hemiceluloza. Mark Jan Prins [4] podczas badań doktorskich nad toryfikacją biomasy pochodzenia drzewnego opisał ten proces bardzo szczegółowo jako proces składający się z dwóch etapów. Pierwszym etapem była reakcja w wyniku, której obserwuje się ubytek masy rzędu 25% masy pierwotnej próbki wzrastającym ze wzrostem temperatury i największym ubytkiem masy w drugim etapie reakcji. Pierwszy szybki etap ubytku masy pierwotnej tłumaczy się dekompozycją hemicelulozy, natomiast drugi wyraźnie wolniejszy i znacznie większy związany jest z dekompozycją celulozy i kolejnym zwęglaniem fragmentów hemicelulozy. Proces termicznego rozpadu biomasy drzewnej jest procesem bardzo kompleksowym ponieważ drewno zawiera różne frakcje. W skali mikroskopowej, komórki drewna składają się z tzw. mikrowiązek składających się z cząsteczek celulozy pokrytych cząsteczkami hemicelulozy. Pomiędzy tymi mikrowiązkami (czasem w amorficznych obszarach tych mikrowiązek) znajduje się lignina (patrz Rys.10.). Te różne frakcje drzewne charakteryzują się różnymi właściwościami w tym różną reakcją na ciepło. W związku z tym można wyróżnić trzy strefy na krzywej ubytku masy: hemiceluloza, najbardziej reaktywny składnik, której dekompozycja zachodzi w zakresie temperatur 225-325°C, celuloza, której dekompozycja zachodzi w zakresie temperatur 300-325 °C oraz lignina, której zakres temperaturowy ubytku masy jest największy 250-500 °C. To wyjaśnia dlaczego w procesie karbonizacji (toryfikacji) biomasy, którego zakres temperaturowy to

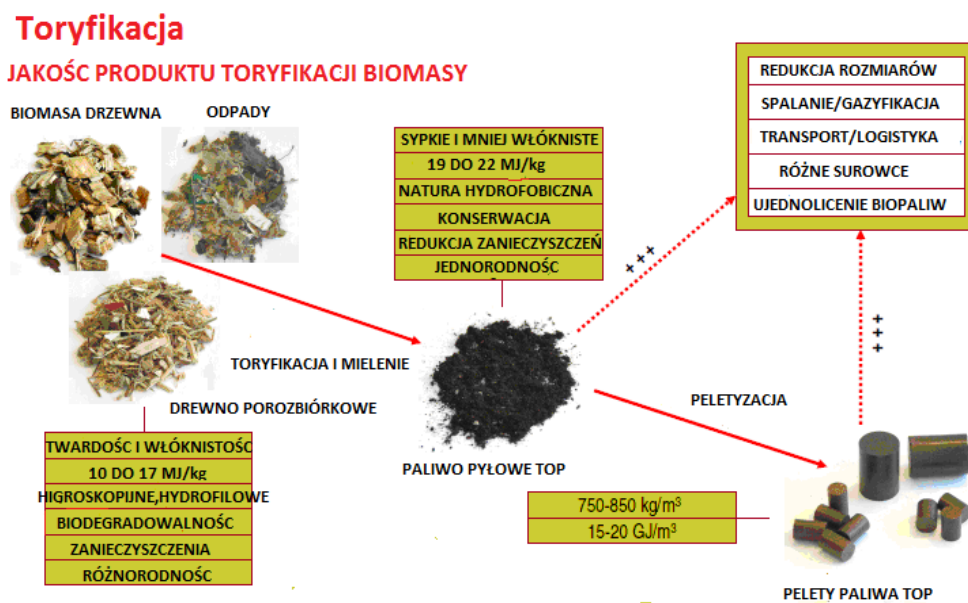
około 200 do 300 °C, największy ubytek masy jest widoczny w dwóch składnikach biomasy drzewnej, to jest w hemicelulozie i ligninie a najmniej w celulozie. Łatwo z tego wywnioskować, że skład biomasy ma niesamowicie istotny wpływ na produkty lotne toryfikacji jak i jej stałe pozostałości.

<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. opałowa</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 Hydrroskopowa</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.4. Zestawienie porównujące właściwości biomasy drzewnej, biomasy storyfikowanej, pelet drzewnych i pelet drugiej generacji po toryfikacji holenderskich TOP Pellets pochodzących z ECN – Energy Research Center.

Karbonizacja jest procesem endotermicznym podczas, którego masa toryfikatu ulega nawet 30% masy pierwotnej, która odpowiada redukcji wilgoci a także częściowym wydzieleniem substancji lotnych. Ponieważ dochodzi do częściowego wydzielenia się części lotnych musi dojść do ubytku energii, który obok 30% ubytku masy nie przekracza zazwyczaj 10% energii pierwotnie zawartej w biomacie. Najczęściej stosowaną prędkością nagrzewu jest 50 °C/min, natomiast optymalnym czasem przebywania biomasy w reaktorze jest 30 minut. Ze względu na różny czas przebywania próbek z biopaliwem w reaktorze, typu biomasy i zawartości wilgoci stosunek ubytku masy i energii może się różnić, najczęściej uzyskuje się 30% zgęszczenie energii dla karbonizacji biomasy przeprowadzonej w wyżej wymienionych warunkach. Proces toryfikacji można podzielić na trzy etapy: suszenie wstępne biomasy, piroliza, zgazowanie. Toryfikację biomasy drzewnej można przeprowadzać w specjalnie do tego przygotowanym reaktorze, piecu opadowym, analizatorze termogravimetrycznym – TGA i kotle ze złożem fluidalnym. Istnieją dwa sposoby doprowadzania ciepła do tego specjalnie zaprojektowanego reaktora na potrzeby toryfikacji: pierwszy ze sposobów dostarczania ciepła do biomasy zakłada pośrednie, przeponowe dostarczanie ciepła poprzez takie nośniki energii jak olej, woda lub para wodna czy spaliny (reaktory pośrednie), drugi sposób, w którym ciepło jest przekazywane bezpośrednio do biomasy od gazu reaktorowego (suszarne fluidalne, zgazowarki) lub spalin (reaktory bezpośrednie). Stosując analizę termogravimetryczną w celu przeprowadzenia toryfikacji biomasy, która pozwala przeprowadzić proces karbonizacji w dynamicznych warunkach z założoną prędkością nagrzewu, należy brać pod uwagę fakt, że prędkości nagrzewu w warunkach rzeczywistych są

znacznie większe w zgazowywarkach i dużych komorach spalania niż te dostępne podczas analizy TGA. Drugim ważnym do wymienienia czynnikiem podczas analizy TGA jest fakt, iż dana prędkość nagrzewu wpływa na limitacje związane z wymianą ciepła i utrudnia analizę kinetyki spalania. Zbyt niska prędkość nagrzewu powoduje, że próbki biomasy drzewnej podgrzewane od temperatur otoczenia do temperatury reakcji torfikacji w znaczący sposób ulegają dekompozycji (ubytek masy jest zauważalny), natomiast zbyt wysoka prędkość nagrzewu może spowodować problemy związane z limitem wymiany ciepła badanej próbki [4]. Ze względu na dobry kontakt gorącego czynnika z surowcem w reaktorach bezpośrednich możliwe jest zastosowanie krótszych czasów przebywania próbek biomasy co jednak jest trudniejsze w praktyce. Istnieją najnowsze typy reaktorów na wzór pieca obrotowego lub reaktora ślimakowego z możliwością użycia torgazu powstałego w wyniku torfikacji jak czynnika gazowego. Części lotne (nazywane torgazem) to głównie palne składniki organiczne, ale również składniki niepalne jak dwutlenek węgla czy woda. Zawartość części palnych i niepalnych torgazu związana jest z zawartością wilgoci w biomacie oraz od parametrów procesu. Torgaz zawiera w swoim składzie około 50% wody, 10% dwutlenku węgla co powoduje, iż jest gazem, który sprawia problemy w wykorzystaniu go jako strumienia ciepła do procesu [5].

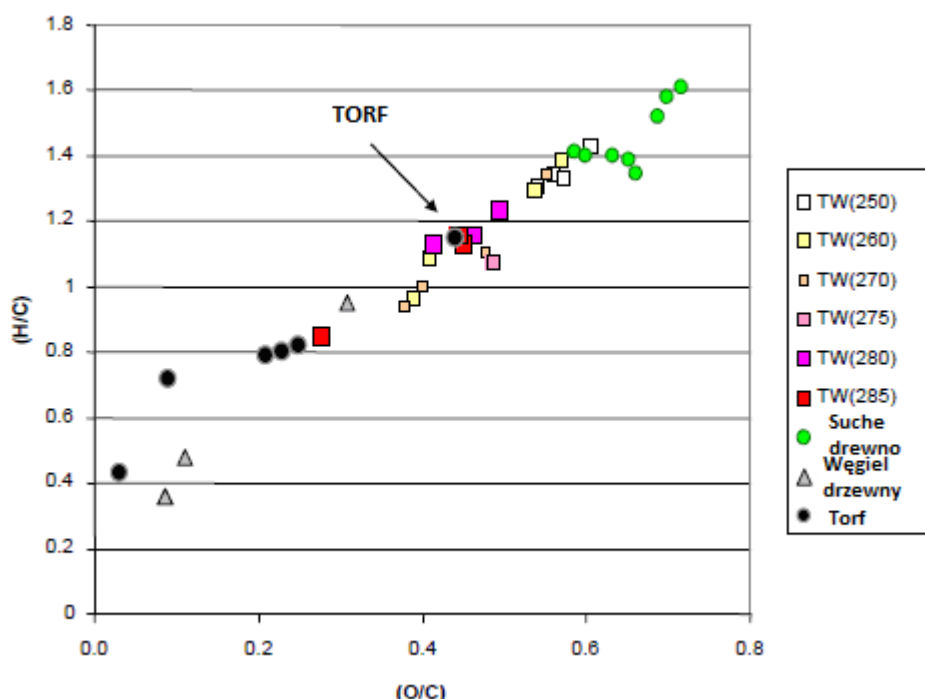


Rys.5. Właściwości biomasy przed i po zastosowaniu technologii ECN.

W trakcie procesu karbonizacji węgla następuje duży ubytek pierwiastków tlenu i wodoru w porównaniu do ubytku pierwiastka węgla co sprawia, iż torfikat jest bardziej węglopodobną materią niż biomasa nieprzetworzona i potocznie nosi nazwę biowęgla. Obniżona wartość stosunku tlen/węgiel sprawia, że proces gazyfikacji biomasy poddanej torfikacji jest wydajniejszy w porównaniu z gazyfikacją biomasy nie poddanej karbonizacji. Wartość opałowa torfikatu pochodzenia drzewnego waha się w granicach 18 do 23 MJ/kg, niewielka zawartość wilgoci w biowęglu (1-6%) powoduje, iż różnica pomiędzy ciepłem spalania a wartością opałową jest niewielka. Uważa się, iż torfikat drzewny pochodzący ze ścinki, drewna odpadowego oraz porozbiórkowego ma zbliżone właściwości fizykochemiczne [6]. Dużym ograniczeniem karbonizacji jest fakt, iż w wyniku tego procesu nie zwiększa się gęstość energetyczna paliwa, co powoduje, że w praktyce warto zastosować połączenie karbonizacji z peletyzacją. Pelety stworzone z torfikatu (tzw. *torrefied pellets*) posiadają wysoką gęstość energetyczną, stają się bardziej odporne na wilgoć i nie wymagają

specjalnych miejsc do składowania. Porównując biowęgiel, który uległ jedynie procesowi toryfikacji, i który również posiada silną naturę hydrofobową wynikającą z zniszczenia grup OH, pelety toryfikatu są trwalsze, łatwiejsze do magazynowania i transportu a co za tym idzie łatwiejsze do zastosowania w pyłowych kotłach węglowych lub w kotle ze złożem fluidalnym dzięki korzystnym zmianom w procesie spalania takim jak skrócony czas zapłonu części lotnych i koksu [7]. 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. Na dzień dzisiejszy ze względu na dosyć wysokie koszty proces toryfikacji nie jest jeszcze stosowany na skalę przemysłową [8][9].

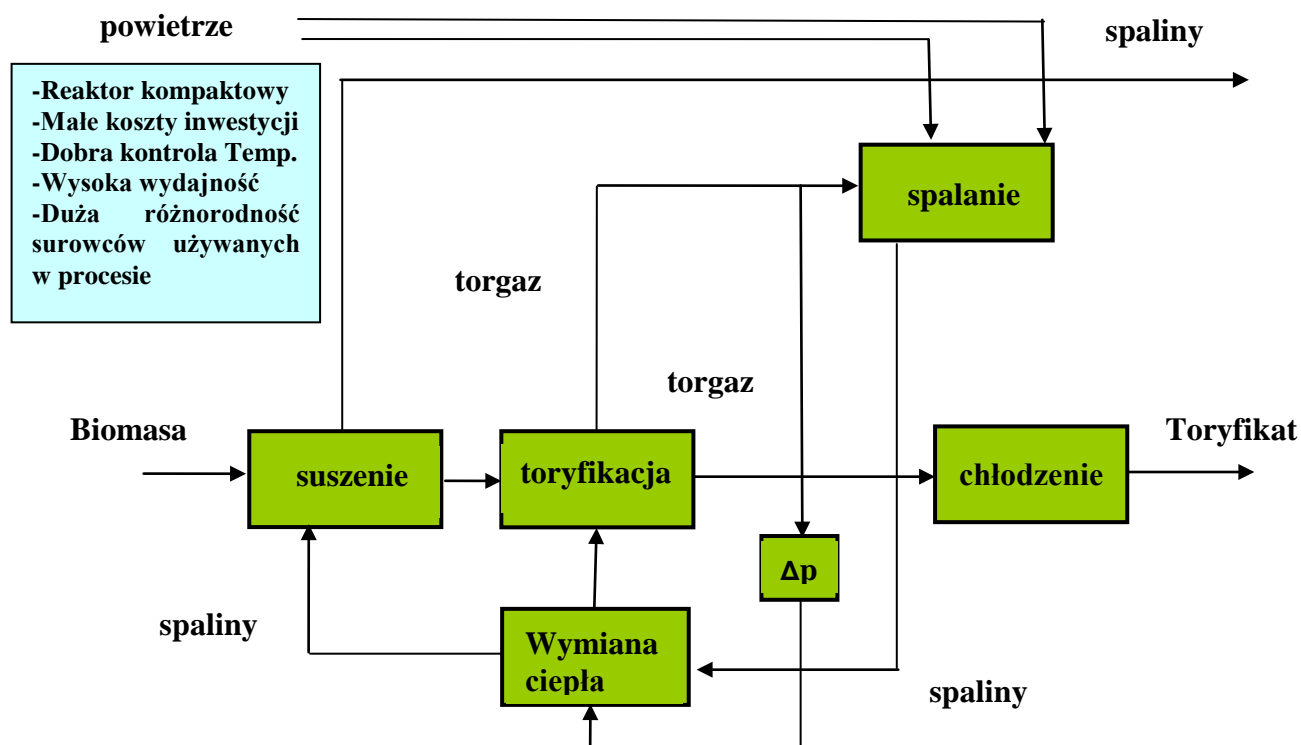
## Van Krevelen



Rys.6. Wykres Van Krevelena przedstawiający zależności od składu różnych typów paliw H/C – wodór/węgiel, O/C - tlen/węgiel. Zielony kolor biomasa sucha, czarny węgiel i z ang. *Peat* torf, do którego pod względem składu zbliżone są już pelety toryfikatu drugiej generacji ECN (kolor fioletowy)

W Polsce prowadzi się również badania na toryfikacją biomasy, w Katedrze Inżynierii Energii Politechniki Częstochowskiej pracuje reaktor umożliwiający przeprowadzenie procesu autonomicznej karbonizacji biomasy (trociny, zrębki drzewne, słoma, wierzba energetyczna, mączka mięsno kostna, osady ściekowe i inne). Najważniejszym zadaniem reaktora jest utrzymanie optymalnych warunków przepływowych, aby w przestrzeni jego komory, w której dochodzi do reakcji toryfikacji, uzyskać maksymalną szybkość nagrzewu rozdrobionej biomasy (ok. 280°C) tak by zainicjować reakcję egzotermiczną. Aby trwale i w sposób niezawodny utrzymać warunki przebiegu reakcji egzotermicznej, reaktor został tak skonstruowany aby ograniczyć kontakt karbonizatu z gazami pizolitycznymi. Gazy, które opuszczają reaktor są spalane, ułatwia to kontrolę ich temperatury i stabilizuje pracę reaktora. Dodatkowym atutem tego typu konstrukcji reaktora jest specjalny układ suszenia i termolizy, w którym to można uzyskać dodatkowe ciepło z gorących spalin opuszczających reaktor. Ilość tego ciepła zależy od zawartości wilgoci w podawanej biomacie [10].





Rys.7. Schemat obrazujący proces bezpośredniej toryfikacji termicznej technologii ECN

Literatura:

- [1] Rickets 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.oze.opole.pl/Energia\\_biomasy](http://www.oze.opole.pl/Energia_biomasy), Odnawialne Źródła Energii Opolszczyzny
- [5] M. J. Prins: Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction, Technische Universitet Eindhoven, The Netherlands.
- [6] M. Jakubiak, W. Kordylewski: Toryfikacja Biomasy, Politechnika Wroclawska, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Wrocław 2009.
- [7] Arias B., Pevida C., Feroso J., Plaza M.G., Rubiera F., Pis J.J., Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass, FUEL PROCESSING TECHNOLOGY, 89 (2008) 169-175.
- [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] Won Chan Park, Arvind Atreya, Howard R.Baum: Experimental and theoretical investigation of heat and mass transfer processes during wood pyrolysis, Combustion and Flame 157 (2010) 481-494.
- [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.