
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 26
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok IX

Warszawa–Opole 2016

MARCIN DĘBOWSKI*
HALINA PAWLAK-KRUCZEK**
MICHAŁ CZEREP***
ARTUR BRZDĘKIEWICZ****
ZIEMOWIT SŁOMCZYŃSKI*****

Technologie produkcji biowęgla – zalety i wady

Słowa kluczowe: toryfikacja, przegląd technologii toryfikacji, toryfikator.

Rosnące zapotrzebowanie na energię zmusza do poszukiwania nowych rozwiązań umożliwiających jej pozyskanie – konwersję. Najprostszym sposobem wytwarzania ciepła oraz energii elektrycznej jest proces spalania paliwa w kotłach energetycznych. Najbardziej popularnymi paliwami są węgiel brunatny lub kamienny. Ze względu na wyczerpalność tych zasobów oraz konieczność redukcji emisji CO₂, poszukiwanie są inne rozwiązania. Jednym z dobrze rokujących kierunków rozwoju jest spalanie biowęgla, który należy rozumieć jako biomasę poddaną obróbce cieplnej, tj. wolnej pirolizie inaczej toryfikacji. Toryfikacja polega na powolnej dekompozycji termicznej składowych biomasy poprzez jej ogrzewanie do stosunkowo niskiej temperatury w atmosferze bez utleniacza. Przeprowadzono wiele prac badawczych, stąd proces jest w znacznej mierze rozpoznany.

W chwili obecnej realizowane są prace nad przeniesieniem wyników badań i technologii ze skali laboratoryjnej do przemysłowej. W zamyśle konstruktorów jest to, aby reaktory do produkcji biowęgla były w dużym stopniu autotermiczne, tym samym, by w trakcie pracy nie wymagały dodatkowego źródła energii, poza gazem procesowym wydzielanym z materiału poddanego obróbce. W pracy przedstawiono wymagania stawiane biowęgłowi i trudności, które trzeba rozwiązać w procesie jego produkcji. Omówiono różne, dostępne na rynku, technologie oraz je porównano.

* Dr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, marcin.debowski@pwr.edu.pl

** Dr hab. inż. prof. PWR, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, hali na.pawlak@pwr.edu.pl

*** Mgr inż., Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, michal.czerep@pwr.edu.pl

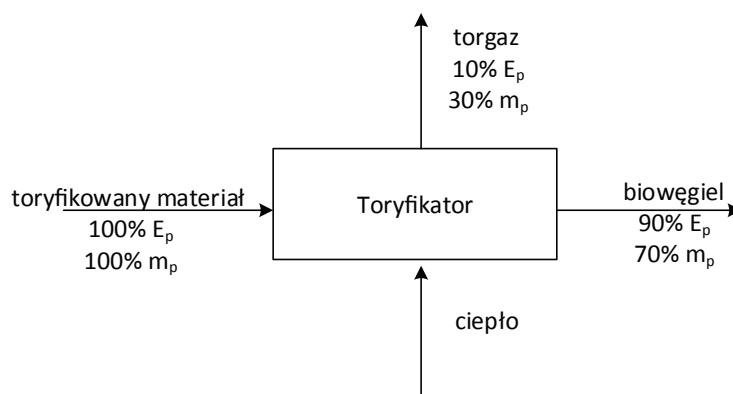
**** Mgr inż., SBB Energy S.A., a.brzdekiewicz@sbbenergy.com

***** Mgr inż., SBB Energy S.A., z.slomczynski@sbbenergy.com

1. Wstęp

Produkcja biewęglu polega na poddaniu obróbce cieplnej biomasy bez dostępu utleniacza. Proces odbywa się w temperaturze od 200 do 300°C lub 500°C z zachowaniem określonej szybkości narostu temperatury, w przypadku procesu toryfikacji poniżej 50°C·min⁻¹. Sama idea toryfikacji znana jest już od połowy ubiegłego wieku. Zaletami produktu końcowego są jego właściwości zbliżone do węgla [1], który jest najczęściej w Polsce wykorzystywanym paliwem do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła.

Najczęściej toryfikowanym materiałem jest biomasa drzewna, chociaż coraz częściej wykorzystywane są również inne rodzaje biomasy, w tym inne materiały, dotychczas uważane za bezużyteczne, np. odpady komunalne. Biomasa pod wpływem temperatury ulega częściowemu rozkładowi termicznemu, co powoduje zmiany w jej strukturze, największe dotyczą hemicelulozy. W rozpatrywanym zakresie temperatury lignina i celuloza także mogą ulec rozkładowi, jednak nie w tak dużym stopniu jak hemiceluloza. Przyjmuje się, że redukcja masy surowca wynosi prawie 30% masy początkowej. Jest to spowodowane głównie usunięciem wilgoci oraz częściowym wydzielaniem części lotnych. Przykładowy bilans energetyczny i masowy procesu toryfikacji przedstawiono na rycinie 1.



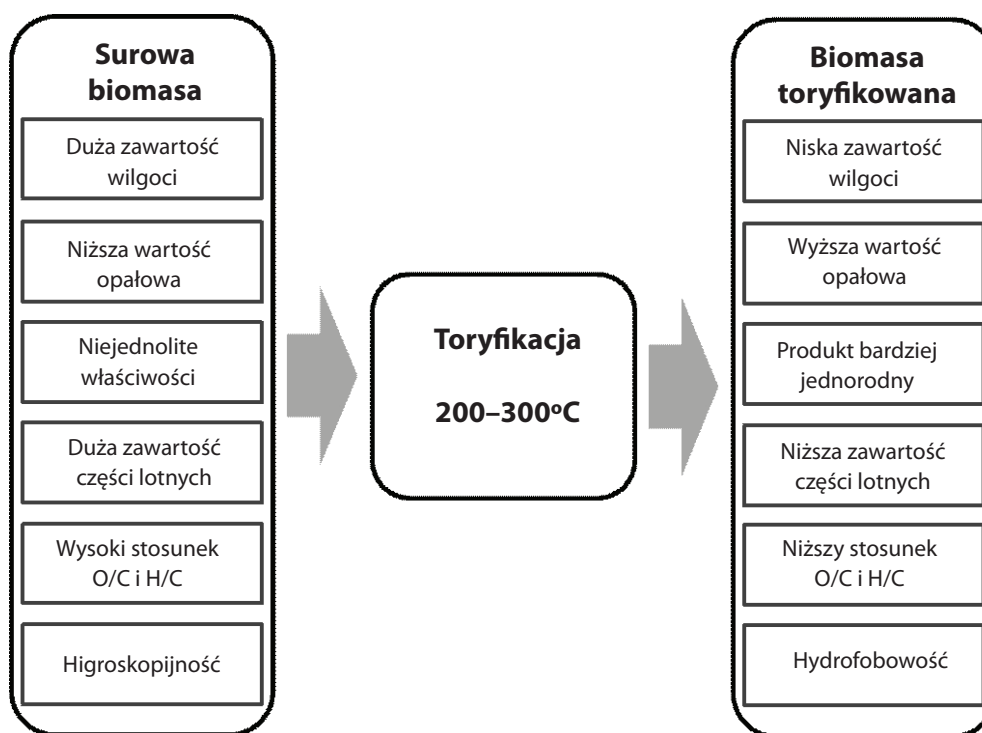
Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 1. Bilans energetyczny i masowy typowego toryfikatora
(E_p – energia początkowa, m_p – masa początkowa)

W wyniku procesu toryfikacji poprawiają się właściwości energetyczne toryfikowanego materiału (ryc. 2) oraz zdolność do przemiału. Poprawie ulega reaktywność, materiał staje się hydrofobowy, obniża się wilgotność paliwa, można również uzyskać usunięcie niekorzystanych substancji, takich jak metale ciężkie czy chlor. Proces ten powoduje wzrost kaloryczności paliwa, np. w przypadku zrębków drzewnych od 18 do 23 MJ·kg⁻¹ [2]. Dodatkowym produktem toryfikacji jest torgaz, czyli wydzielone części lotne. Jest to wilgotny gaz procesowy, który w większości urządzeń wykorzystywany jest do dostarczenia odpowiedniej

ilości ciepła do procesu. Jego skład zależy od materiału wsadowego oraz warunków procesu, jednak przeważnie zawiera on H_2O , CO_2 , CO , CH_4 oraz organiczne składniki kondensujące [3–5]. Jednym z najważniejszych parametrów jest zawartość składników palnych, które pozwolą, aby urządzenie było quasi-autotermiczne – mogło pracować bez dodatkowego źródła ciepła.

Sam proces toryfikacji był i jest intensywnie badany w skali laboratoryjnej [1], w chwili obecnej trwają prace, które umożliwią transfer technologii do skali pilotowej, a następnie przemysłowej [2]. Ponadto prowadzone są analizy i badania pod kątem różnych metod zastosowania biowęgla [4–5], powstają również inicjatywy, jak np. w ramach projektu „E2BEBIS”, utworzenia w Europie 7 regionalnych klastrów biowęglowych skupiających podmioty związane z całym cyklem życia biowęgla [5–6], w tym do celów energetycznych w istniejących blokach energetycznych [6]. W pracy przedstawiono przegląd dostępnych technologii toryfikacji, które funkcjonują już w skali większej niż laboratoryjna.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Zmiana właściwości biomasy podczas toryfikacji

2. Istotne parametry doboru technologii produkcji biowęgla

Ponieważ nie istnieje idealny reaktor, wyboru najbardziej odpowiedniej technologii należy dokonywać w zależności od wielkości i rodzaju biomasy oraz od oczekiwanej wydajności i jakości produktu końcowego – toryfikatu.

Dwie podstawowe informacje, które trzeba uwzględnić przy doborze technologii toryfikacji to rodzaj biomasy oraz wielkość jej cząstek. Te dwa współczynniki wpływają na parametry operacyjne procesu, takie jak temperatura, czas przebywania czy wydajność prażenia.

Temperatura, jak wykazały badania innych naukowców [3, 7–10], jest najważniejszym parametrem, co powoduje, że ma wyraźny wpływ zarówno na ubytek masy, jak i na wydajność energetyczną. Wydajność energetyczna zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury, ale gęstość energii wzrasta, ponieważ stosunek O/C w biowęglu maleje wraz ze wzrostem temperatury procesu [11].

Kolejnym ważnym parametrem, który wpływa na wydajność prażenia jest czas przebywania materiału w komorze toryfikatora. Pomimo że oddziaływanie tego parametru na wydajność toryfikacji jest mniejsze od temperatury toryfikacji, to w sposób znaczący determinuje on konstrukcję reaktora. Dłuższe czasy przebywania wymagają większych rozmiarów komór toryfikatorów, a to z kolei zwiększa koszty inwestycyjne [2]. Czas trwania toryfikacji zależy będzie głównie od rozmiaru cząstek biomasy, pożądanej jakości produktu końcowego oraz typu reaktora.

Następnym parametrem determinującym jakość procesu toryfikacji jest wielkość cząstek biomasy. Rozmiar cząstek biomasy warunkuje bowiem szybkość transferu ciepła w obrębie biomasy, na który wpływ ma powierzchnia wymiany ciepła i przewodność cieplna biomasy. Jeżeli rozmiar cząstki jest duży, to dłuższy jest czas potrzebny do równomiernego rozprowadzania ciepła w obrębie cząstki. Wielkość cząstek rzadko jest jednolita, a nierównomierna szybkość transferu ciepła w biomasie może mieć wpływ na niejednorodność produktu.

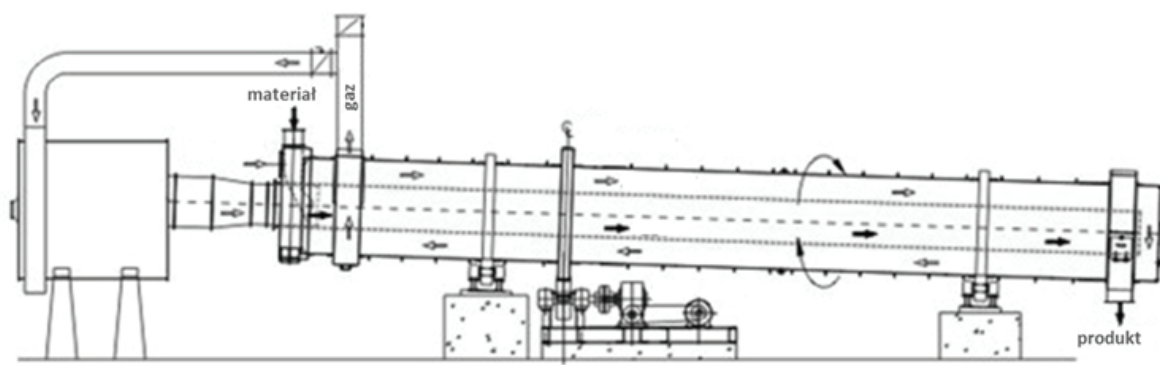
3. Przegląd technologii toryfikacji

W niniejszym rozdziale przedstawiono przegląd dostępnych technologii toryfikacji. Każdy z podrozdziałów poświęcony jest jednej technologii. Opisano również wady i zalety każdego z urządzeń.

3.1. Obrotowy reaktor bębnowy

Obrotowy reaktor bębnowy umożliwia pracę ciągłą. Urządzenie to zbudowane jest jako obrotowy bęben, którego nachylenie można regulować w zakresie kilku stopni względem pozycji pionowej. Konstrukcja ta przewidziana jest do pracy z różnorodnym materiałem. Proces toryfikacji może być regulowany poprzez zmianę temperatury toryfikacji, prędkości obrotowej reaktora oraz długość i nachylenie bębna. Zaletą obrotowego reaktora bębnowego jest jego prosta budowa, niski spadek ciśnienia podczas procesu toryfikacji oraz możliwość ogrzewania biomasy w sposób pośredni i bezpośredni. Dodatkowo w wyniku ruchu obro-

towego bębna materiał poddany obróbce jest dobrze mieszany, co powoduje równomierne przenikanie ciepła do materiału. Oprócz mieszania dochodzi również do rozdrobnienia surowca, a tym samym do powstania drobnych cząstek, które są niepożądane. Wady, takie jak słaba wymiana ciepła podczas ogrzewania pośredniego, trudna regulacja i kontrola temperatury, a przede wszystkim duże gabaryty instalacji powodują duże koszty i ograniczają skalowalność reaktorów. Sprawia to, że jest to technologia opłacalna tylko na małą skalę. Duże instalacje budowane są jako systemy modułowe, w których współpracuje kilka szeregowo połączonych toryfikatorów bębnowych. Trudnością tej technologii jest również niezbędne właściwe uszczelnienie bębna. Urządzenia tego typu często wykorzystywane są jako suszarki do biomasy [12]. Na rycinie 3 przedstawiono schemat obrotowego reaktora do toryfikacji.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 3. Schemat obrotowego reaktora do toryfikacji

W Europie i na świecie dostępnych jest już kilka rozwiązań toryfikatorów bębnowych. Ich zestawienie przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

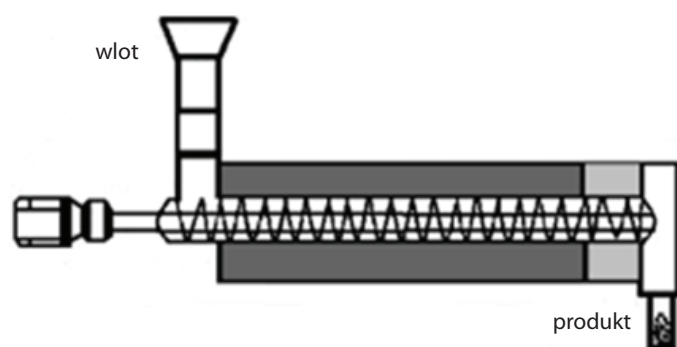
Wybrane technologie toryfikatorów obrotowych [11, 13–15]

Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja Mg·rok ⁻¹	Rok
Torr-coal	Torr-Coal B.V.	Belgia	38 000	2010
ACB	EBES AG	Austria	10 000	2010
CDS	Atmosclear SA	USA	50 000	2010
Brak danych	Bio Energy Development North AB	Szwecja	25 000	2012
Brak danych	CENER, ES	Hiszpania	4 000	2011
Brak danych	Earth Care Products	USA	20 000	brak danych
Brak danych	4Energy Invest	Belgia	38 000	brak danych
Konza	West Creek Energy	USA	85 000	2012
BioEndev	ETPC	Hiszpania	36 000	2013
BIO3D	BIO3D	Francja	brak danych	brak danych
Brak danych	TSI	USA	brak danych	2014

3.2. Toryfikator śrubowy

Tak jak w przypadku reaktora obrotowego, toryfikator śrubowy jest urządzeniem przeznaczonym do produkcji ciągłej. Jest to stosunkowo tania technologia z szeroką tolerancją, co do rozmiarów cząstek toryfikowanego materiału. Ideą jego działania jest śruba, która w wyniku ruchu obrotowego przepycha surowiec przez rektor. Ze względu na fakt, że w większości rozwiązań ciepło przekazywane jest przeważnie w sposób pośredni, poprzez płaszcz naokoło reaktora lub specjalny kanał w śrubie transportującej materiał, w których przepływa czynnik grzewczy, mamy do czynienia z niskim przenikaniem ciepła. Należy jednak zaznaczyć, że również są urządzenia z bezpośrednim mechanizmem przekazywania ciepła, z wykorzystaniem systemu dwuśrubowego [16]. W przypadku grzania pośredniego występuje niekorzystne zjawisko powstawania gorących stref, które w połączeniu z brakiem dobrego wymieszania surowca powodują, że produkt nie jest jednorodnie – równomiernie storyfikowany [16]. Dla zapewnienia lepszego transferu ciepła do biomasy konieczne jest projektowanie śruby z wysoką wydajnością mieszania. Podobnie jak w przypadku reaktorów obrotowych, istnieją trudności z uszczelnieniem.

Reaktory śrubowe są tanie w budowie i eksploatacji. Należy jednak pamiętać, że wraz ze zwiększaniem objętości toryfikatora, niemożliwe jest proporcjonalne zwiększenie aktywnej powierzchni śruby napędowej, stąd też ograniczenia skalowalności urządzeń tego typu. Niektóre źródła podają, że górną granicą jest średnica wewnętrzna wynosząca 40 cm [12]. Niekwestionowaną zaletą konstrukcji jest możliwość pracy w pozycji pionowej, jak również poziomej. Czas przebywania biomasy w reaktorze zależy od długości i prędkości obrotowej ślimaka. Zaletą tego rozwiązania jest przepływ tłokowy. Na rycinie 4 zobrazowano schemat reaktora śrubowego. W tabeli 2 zestawiono wybrane technologie toryfikatorów śrubowych.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 4. Schemat reaktora śrubowego do toryfikacji

T a b e l a 2

Wybrane technologie toryfikatorów śrubowych [11, 13–15]

Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja Mg·rok ⁻¹	Rok
Foxcoal	FoxCoal B.V.	Holandia	35 000	2011
Brak danych	BioLake B.V.	Holandia	5 000–10 000	2010
BTG	BTG	Holandia	42 000	2014
Tore-tech	Agri-Tech Producers LLC	brak danych	42 000	2011
RTF	RTF	brak danych	42 000	2012

3.3. Reaktor taśmowy

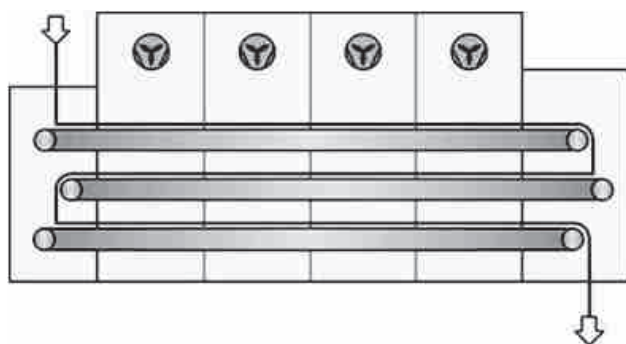
Reaktory taśmowe zbudowane są z wielu taśm umieszczonych jedna pod drugą. Transport biomasy na kolejnych warstwach taśmy jest mechaniczny. Gdy biomasa spada z jednej taśmy na drugą, następuje mieszanie cząstek, co w rezultacie poprawia jednorodność produktu. Ciepło do toryfikatorów taśmowych może być doprowadzane zarówno bezpośrednio, za pomocą gorącego medium gazowego, jak i w sposób pośredni. Czas przebywania materiału w toryfikatorsze jest łatwy do kontrolowania poprzez zmianę prędkości taśm, ale zazwyczaj wynosi ok. 30 minut.

Wadą reaktorów taśmowych są duże rozmiary gabarytowe, które ograniczają możliwości skalowania i rozbudowy; kolejną wadą jest również duża ilość części mechanicznych oraz ograniczenia co do zakresu rozmiarów biomasy. Reaktor takiej konstrukcji jest mniej odpowiedni dla materiałów o mniejszej gęstości.

Podobnej konstrukcji i o podobnej zasadzie działania są oscylacyjne reaktory taśmowe. Biomasa w takich reaktorach jest transportowana za pomocą ruchomych, porowatych taśm na kolejne niższe poziomy. Wadą tych konstrukcji jest jednak zatykanie się porowatej struktury taśmy przez smołę i małe cząsteczki biomasy.

Na rycinie 5 przedstawiono schemat ideowy reaktora multitaśmowego, a na rycinie 6 pokazano widok instalacji pilotowej, która powstała w oparciu o intensywne badania laboratoryjne w skali pilotowej [4, 17] w ramach współpracy Zakładu Kotłowni, Spalania i Procesów Energetycznych Politechniki Wrocławskiej z SBB Energy S.A. Reaktor zbudowany jest z ruchomych segmentów – taśm, które grza-

ne są z wykorzystaniem recyrkulacji spalin pochodzących ze spalania gazu procesowego – torgazu.



Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Ryc. 5. Schemat reaktora półkowego do toryfikacji

Instalacja została opracowana na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych, których wyniki umożliwiły stworzenie toryfikatora zasilanego różnymi typami biomasy, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości produktu końcowego. Dzięki zastosowaniu nowatorskiego sposobu odbioru torgazu, możliwe jest jego efektywne spalanie we względnie niskiej temperaturze, tj. 900°C, nawet w przypadku zmiany składu gazu.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 6. Instalacja toryfikatora multitaśmowego Politechniki Wrocławskiej i SBB Energy

W tabeli 3 zestawiono wybrane technologie toryfikatorów taśmowych.

Tabela 3

Wybrane technologie toryfikatorów taśmowych [11, 13–15]

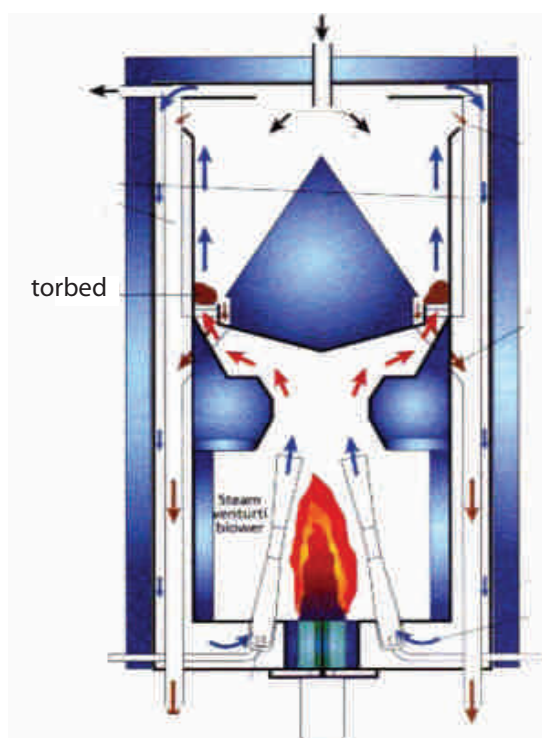
Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja Mg·rok ⁻¹	Rok budowy
Multitaśmowa	Politechnika Wrocławska	Polska	42 000	2010
Belt conveyor	4 Energy	Holandia	46 000	2010
Stramproy	Horizon Bioenergy	Holandia	45 000	2010
ECO-PYRO	New Earth Renewable Energy Fuels	USA	17 000	2012

3.4. Instalacje fluidalne na przykładzie reaktora Torbed

Technologia Torbed ma szerokie zastosowanie w wielu procesach, w tym również wykorzystywana jest do termicznego przetwarzania biomasy. W zależności od temperatury, w reaktorze mogą być przeprowadzane procesy spalania, suszenia albo toryfikacji. Instalacja może pracować w sposób ciągły lub cykliczny, jednak przy toryfikacji, praca cykliczna skutkuje niską wydajnością.

W reaktorze biomasa dostarczana jest od góry i spada na złożo zbudowane z łopatek. Gorące medium wdmuchiwane jest od spodu złoża z dużą prędkością wynoszącą ok. 50–80 m·s⁻¹, a następnie przechodzi przez łopatki ustawione pod określonym kątem, co powoduje powstawanie toroidalnego modelu przepływu.

Wirry sprawiają, że cząstki biomasy nagrzewają się szybciej na zewnętrznych ścianach reaktora. Główną zaletą tej technologii jest doskonała intensywność wymiany ciepła, która pozwala na toryfikację biomasy przy krótkim czasie przebywania materiału w reaktorze (ok. 80 sekund). Przekłada się to również na rozmiar reaktora, który jest stosunkowo niewielki. Technologia ta pozwala na uzyskanie produktu końcowego o różnych właściwościach w zależności od zapotrzebowania, tym samym odznacza się wysoką elastycznością. Do wad instalacji należy zaliczyć wrażliwość na rozmiar cząstek toryfikowanego materiału – reaktory te wymagają małego rozmiaru cząstek. Toroidalny ruch cząstek prowadzi do ścierania się materiału i tworzenia drobnych cząstek, które mogą być utracone w całym procesie. W technologii Torbed potrzebne są dodatkowe urządzenia pomocnicze, wykorzystywane do zasilania gazem do fluidyzacji. Na rycinie 7 przedstawiono schemat reaktora Torbed.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 7. Schemat reaktora Torbed [18]

W tabeli 4 zestawiono wybrane technologie toryfikatorów fluidalnych.

Tabela 4

Wybrane technologie toryfikatorów fluidalnych [11, 13–15]

Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja Mg·rok ⁻¹	Rok
Torbed	Topell Energy B.V.	Holandia	60 000	2011
Airex	Airex	Kanada	brak danych	brak danych
Fluidised Bed	Bioenergy Development & Production	Kanada	brak danych	brak danych
Fluidised Bed	River Basin Energy	USA	48 000	brak danych

3.5. Reaktor mikrofalowy

Reaktor mikrofalowy jako źródło ciepła wykorzystuje promieniowanie mikrofalowe (mikrofałe), przez co charakteryzuje się szybkim i jednorodnym nagrzewaniem materiału, nawet do wewnątrz cząstki. Nagrzewanie się cząstek poprzez mikrofałe może odbywać się na dwa sposoby, przez rotację dipola albo migrację jonów. Technologia mikrofalowa wprawia w drgania cząstki wody znajdujące się w toryfikowanym materiale, co pozwala na torfikację materiału o wysokiej zawartości wilgoci. Na proces ten wpływ mają głównie dwa parametry: rodzaj biomasy oraz zdolność biomasy do pochłaniania promieniowania mikrofalowego. W związku z tym, że technologia ta oparta jest na napromieniowaniu mikrofalowym, temperatura torfikacji i szybkość nagrzewania biomasy w dużym stopniu zależą od mocy mikrofal. Większa moc pozwala osiągnąć odpowiednią temperaturę w torfikatorze w bardzo krótkim czasie, a tym samym znacznie skraca czas trwania całego procesu. W przypadku dużych cząstek biomasy może wystąpić znaczny gradient temperatury w cząstce, w wyniku czego powstaje niejednolity produkt. Główną niedogodnością jest jednak to, że energia niezbędna do wytworzenia promieniowania mikrofalowego jest niemożliwa do pozyskania z torgazu w ilości umożliwiającej pokrycie 100% zapotrzebowania. To negatywnie wpływa na efektywność energetyczną i koszty operacyjne, jak również nie pozwala na wykorzystanie tego typu urządzeń w przypadku braku stabilnego zasilania sieciowego.

3.6. Reaktor w układzie przepływowym

Najprostszym pod względem budowy jest reaktor w układzie przepływowym. Nie zawiera żadnych części ruchomych. Reaktor składa się z zamkniętego zbiornika, do którego biomasa podawana jest od góry i przesuwaną się grawitacyjnie stopniowo w dół odbiera ciepło od gorącego gazu przepływającego w przeciwnym kierunku (z dołu do góry). Biomasa pod wpływem działania ciepła ulega procesowi torfikacji. Produkt stały odbierany jest od spodu reaktora, a następnie chłodzony. Torgaz opuszcza reaktor w górnej części. Stopień wypełnienia reaktora jest duży, ponieważ proces przebiega w całej jego objętości. Ze względu na brak odpowiedniego mieszania wadą tej konstrukcji jest konieczność selektywnego stosowania wielkości ziarna cząstek biomasy, ponieważ istnieje ryzyko jej nierównomiernego ogrzewania przez przepływający gaz, co może prowadzić do otrzymania niejednolitego torfikatu. Występuje też stosunkowo duży spadek ciśnienia, w szczególności w dolnej części złoża podczas torfikowania małych (< 5 mm) cząstek biomasy. Czas procesu szacuje się na 30–40 minut.

Zaletami tego rozwiązania technologicznego jest prosta konstrukcja i duża gęstość złoża. Wadami reaktora z ruchomym złożem są: znaczny spadek ciśnie-

nia w całym reaktorze, utrudniona kontrola temperatury, a szczególnie słabe rozprzodzenie ciepła wynikające z braku mieszania biomasy w reaktorze, co może skutkować niejednorodnym produktem. Reaktory te mają również pewne ograniczenia co do skalowalności. W tabeli 5 wyszczególniono dostawców tej technologii.

Tabela 5

Wybrane technologie toryfikatorów z ruchomym złożem [11, 13–15]

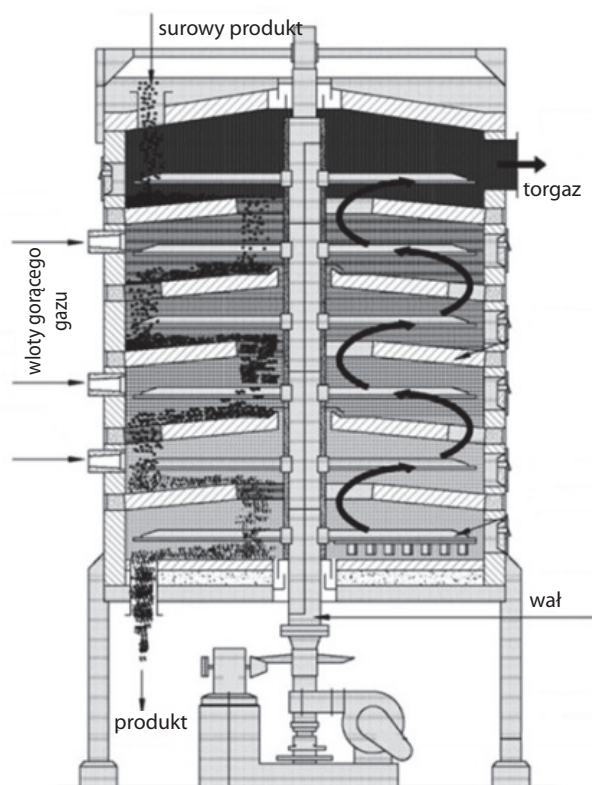
Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja t·rok ⁻¹	Rok budowy
Thermya	Thermya	Francja, Hiszpania	20 000	2011
BO ₂	ECN, Vattenfall	Dania	10 000	2011

3.7. Multiple Hearth Furnace – półkowy

Multiple Hearth Furnace (MHF) to reaktor wielowarstwowy przeznaczony do pracy w trybie ciągłym. Biomasa podawana jest od góry na kolejne warstwy reaktora, z których mechanicznie przesuwana jest raz do wewnątrz reaktora, raz na zewnątrz, gdzie na kolejnych warstwach znajdują się otwory pozwalające na spadanie biomasy na niższe poziomy. Taki sposób transportu biomasy powoduje jej dobre wymieszanie i równomierne nagrzewanie oraz prażenie. Wymiana ciepła w reaktorze następuje w sposób bezpośredni, a ciepło jest doprowadzane do każdej z warstw osobno. Umożliwia to stopniowanie gradientu temperatury w reaktorze. W górnych warstwach następuje suszenie, a w dolnych dochodzi do

toryfikacji biomasy. Reaktor ten ma jednak niższe tempo wymiany ciepła w porównaniu z innymi reaktorami bezpośrednimi (np. reaktory fluidalne), a jego konstrukcja doskonale nadaje się do wykorzystania ciepła uzyskanego ze spalania torgazu. Reaktory takie cechują się dużymi rozmiarami, ale nadają się zarówno do toryfikacji drobnych trocin, jak i większych zrębek. Nie występuje także problem związany ze skalowalnością takich instalacji.

Na rycinie 8 pokazano schemat reaktora MHF.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 8. Schemat toryfikatora MHF

W tabeli 6 zestawiono dostawców technologii MHF.

T a b e l a 6

Wybrane technologie toryfikatorów MHF [11, 13–15]

Nazwa technologii	Deweloper	Lokalizacja	Produkcja t·rok ⁻¹	Rok budowy
Wyssmont	Integro Earth Fuels	USA	80 000	2010
CMI-NESA	CMI-NESA	Belgia	brak danych	brak danych

4. Podsumowanie

Produkcja biowęgla, w tym toryfikatu, jest kierunkiem rozwoju umożliwiającym zwiększenie posiłkowanie się biomasą, która jako paliwo jednolite w odniesieniu do jej właściwości pozwoli na wykorzystanie jej do spalania w kotłach opalanych dotychczas węglem, w różnej skali.

Badania dotyczące procesu toryfikacji są w zaawansowanym stadium. Jednakże nierozwiązane pozostają nadal niektóre aspekty związane z adaptacją czy wzrostem wydajności, jak również ze skalą opisywanych technologii i organizacji procesu wymiany energii. Dokładniejszego poznania wymagają także kwestie wybuchowości pyłu oraz bezpiecznego transportu i składowania.

Na świecie ponad 40 dostawców oferuje technologie toryfikacji. Większość z nich została już zbadana i pracuje głównie na biomase drzewnej. W obecnej urbanizacji znacznie wzrosła produkcja niektórych biomas uboższych w lignicelulozę, takich jak odpady komunalne, odpady ściekowe, odpady rolne, a także odpady z produkcji zwierzęcej bogate w tłuszcze, białka i inne substancje organiczne. W związku z tym istnieje duże zapotrzebowanie na zagospodarowanie tego typu biomasy, a procesy wstępnego prażenia mogą w znacznym stopniu się do tego przyczynić. Technologie do produkcji biowęgla z różnego typu biomas ciągle wymagają nowych modyfikacji w celu końcowej komercjalizacji, stąd też zachodzi konieczność dalszego rozwoju tej dziedziny nauki. Rozwiązanie opracowane w ramach współpracy Zakładu Kotłów, Spalania i Procesów Energetycznych Politechniki Wrocławskiej z SBB Energy S.A. w ramach projektu BioPoGen, ma w większości już rozwiązane wspomniane zasadnicze problemy łączące się z procesem toryfikacji. Na zbudowanej instalacji pilotowej były prowadzone testy z wykorzystaniem wielu rodzajów biomas, w tym drewnianej, PKS i słomy. Otrzymane wyniki badań pozwalają na opracowanie końcowych wytycznych projektowych do budowy rozwiązania komercyjnego*.

* Przedstawione wyniki uzyskano w ramach prowadzenia badań w projekcie: Biocoal for power generation, akronim: biopogen. Projekt finansowany był ze środków: EIT Knowledge & Innovation Community KIC Innoenergy.

Literatura

- [1] Mościcki K., Niedźwiecki Ł., Owczarek P., Wnukowski M., *Commoditization of biomass: dry torrefaction and pelletization-a review*, „Journal of Power Technologies” 2014, Vol. 94, No. 4, s. 233-249.
- [2] Bergman P., Boersma A., Zwart R., Kiel J., *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations*, „BIOCOAL”, ECN Report, 2005, www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05013.pdf (18.05.2016).
- [3] Bridgeman T., Jones J., Shield I., Williams P., *Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties*, „Fuel” 2008, Vol. 87, s. 844–856.
- [4] Pawlak-Kruczek H., Czerep M., Zgóra J., Kruczek P., *Torrefaction of biomass in special construction quasi-auto-thermal reactor*, [w:] *The Clearwater Clean Coal Conference: proceedings of the 39th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems*, Clearwater 2014.
- [5] Pawlak-Kruczek H., Zgóra J., Krochmalny K., *Characterization of torrefied biomass depends on process condition*, [w:] *Proceedings of the 40th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems*, Clearwater 2015.
- [6] Li J., Zhang X., Pawlak-Kruczek H., Yang W., Kruczek P., Blasiak W., *Process simulation of co-firing torrefied biomass in a 220 MWe coal-fired power plant*, „Energy Conversion and Management” 2014, Vol. 84, s. 503–511.
- [7] Ferro D., Vigouroux V., Grimm A., Zanzi R., *Torrefaction of agricultural and forest residues*, [w:] *II-0185-FA conference publication*, Cubasolar, Guantanamo 2004.
- [8] Pimchuai A., Dutta A., Basu P., *Torrefaction of agriculture residue to enhance combustible properties*, „Energy and Fuel” 2010, Vol. 24, No. 9, s. 4638–4645.
- [9] Repellin V., Govin A., Rolland M., Guyonnet R., *Modelling anhydrous weight loss of wood chips during torrefaction in a pilot kiln*, „Biomass and Bioenergy” 2010, Vol. 34, No. 5, s. 602–609.
- [10] Ciolkosz D., Wallace R., *A review of torrefaction for bioenergy feedstock production*, „Biofuels, Bioproducts and Biorefinery ” 2011, Vol. 5, No. 3, s. 317–329.
- [11] Dhungana A., *Torrefaction of biomass*, Dalhousie University, Halifax 2011.
- [12] Batidzirai B., Mignot A.P.R., Schakel W.B., Junginger H., Faaij A., *Biomass torrefaction technology: Technoeconomic status and future prospects*, „Energy” 2013, Vol. 62, No. C, s. 196–214.
- [13] Kleinschmidt C., *Overview of international developments in torrefaction*, [w:] *Bioenergy Trade, Torrefaction workshop*, 2011, www.ieabcc.nl/workshops/task32_2011_graz_torrefaction/Kleindschmidt_Paper.pdf (18.05.2016).
- [14] Nhuchhen D., Basu P., Acharya B., *A Comprehensive Review on Biomass Torrefaction*, „International Journal of Renewable Energy & Biofuels” 2014, Vol. 14, s. 1–56.
- [15] Melin S., *Torrefied wood a New Emerging Energy Carrier*, [w:] *Wood Pellet Association of Canada*, 2011, [www.pellet.org/linked/2011-03-09%20ccpc%20presentation%20\(2\).pdf](http://www.pellet.org/linked/2011-03-09%20ccpc%20presentation%20(2).pdf) (18.05.2016).

- [16] K o p p e j a n J., S o k h a n s a n j S., M e l l i n S., M a n d r a l i S., Status overview of torrefaction technologies, IEA Bioenergy Task 32 report, Finalreport, 2012, www.ieabcc.nl/publications/IEA_Bioenergy_T32_Torrefaction_review.pdf (18.05.2016).
- [17] P a w l a k - K r u c z e k H., C z e r e p M., *Technologia termicznej waloryzacji paliw – toryfikacja w autotermicznym reaktorze*, „Nowa Energia” 2016, t. 1, s. 31–38.
- [18] Ontario Power Generation, „Torrefaction treatment process”, 25 November 2010, http://platinum.lambton.on.ca/bsi/mcfilemanager/files/templates/pdf_docs/torrefaction_treatment_processnov252010.pdf (18.05.2016).

MARCIN DĘBOWSKI
HALINA PAWLAK-KRUCZEK
MICHAŁ CZEREP
ARTUR BRZDĘKIEWICZ
ZIEMOWIT SŁOMCZYŃSKI

TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF BIOCHAR – ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

Keywords: torrefaction, torrefaction technology review, torrefaction unit.

Rising energy demand forced to seek new solutions for its acquisition – conversion. The simplest method of producing heat and electricity is the combustion process in power plant boilers. The most common fuels are lignite and hard coal. Due to limited resources of these fuels and the need to reduce the CO₂ emissions, other solutions are sought. One of the promising direction is the biochar burning, which implies the biomass is subjected to heat treatment – i.e. slow pyrolysis otherwise torrefaction. Torrefaction consists in a slow thermal decomposition of biomass components by heating it to a relatively low temperature in the atmosphere without oxidant. Many studies conducted thus the process is largely recognized.

Currently work on the transfer of research results and technologies from the laboratory scale to industrial scale are carried out. The intention of designers is to reactors for the production of biochar were largely autothermal thereby that during operation does not require an additional power source, otherwise the process gas is secreted from the treated material. The paper presents what are the requirements for biochars and shows difficulties that must be solved in the process of their production. Various technologies available on the market are shown, together with a comparison of their advantages and disadvantages.