

# BIOMASA I JEJ WYKORZYSTANIE W ENERGETYCE

**Szymon Szufa**

Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka

## 1. WPROWADZENIE

Biomasa jest źródłem energii, które jest bardzo rozproszone i w porównaniu do paliw kopalnych takich jak węgiel kamienny i brunatny charakteryzuje się odmiennymi właściwościami paliwowymi, wśród których należy wymienić niższą wartość opałową i wyższą zawartość wilgoci. Jeżeli chcielibyśmy porównać właściwości biomasy i węgla kamiennego, który jest najczęściej stosowanym źródłem energii w Polsce i wielu innych krajach na świecie można z łatwością stwierdzić, że skład elementarny obydwu tych paliw jest bardzo podobny. Największe różnice występują jednak zazwyczaj w udziałach związków organicznych oraz konkretnych pierwiastków. Biopaliwa posiadają w swoim składzie aż czterokrotnie więcej tlenu w porównaniu do węgla kamiennego oraz około dwa razy mniej pierwiastka węgla, mniej azotu i siarki. Spowodowane jest to faktem, iż biomasa odznacza się stosunkowo wysoką reaktywnością oraz dużą zawartością części lotnych [1]. Jak wspomniano na samym początku biomasa charakteryzuje się wysoką i bardzo zmienną ilością wilgoci, która spowodowana jest wieloma czynnikami wśród, których warto wymienić takie jak:

- zmienne warunki klimatyczne
- rodzaj danego gatunku biomasy i jej klonów
- rodzaj gleby
- sposób sadzenia i wzrostu danego typu biomasy

Wysoka zawartość wilgoci w biomasie powoduje, że wartość opałowa biomasy w stanie roboczym jest bardzo niska, niska jest też gęstość nasypowa oraz co za tymi dwoma czynnikami idzie gęstość energetyczna czego konsekwencją jest bardzo drogi transport biomasy od źródła jej zbiorów do miejsca spalania. Również infrastruktura magazynowa to bardzo istotny aspekt przy wykorzystywaniu biomasy w energetyce, specjalne silosy, taśmociągi podające biomasę, wagi i szczelne kontenery muszą zostać zaprojektowane i to powoduje, iż wykorzystanie biomasy jest stosunkowo drogą inwestycją w porównaniu do wykorzystania węgla. Logistyka biomasowa to bardzo ważna i odpowiedzialna dziedzina pracy szeregu specjalistów w każdej elektrowni i elektrociepłowni wykorzystującej biomasę do produkcji energii elektrycznej i energii cieplnej. W celu składowania biomasy potrzebne są duże powierzchnie składowisk oraz specjalnie przygotowane zadaszone magazyny.

Spalanie biomasy w połączeniu z węglem w konwencjonalnych kotłach energetycznych jest kierunkiem rozwoju obecnej energetyki zawodowej w Polsce i w wielu innych krajach Europy i świata. Dokonując dogłębnej analizy zasobów energii odnawialnej w Polsce uzyskujemy jeden istotny wniosek: biomasa posiada największy potencjał energetycznych, ponieważ to w niej zakumulowana jest większość energii możliwej do pozyskania ze źródeł odnawialnych. Niestety stosowanie biomasy nieprzetworzonej (o dużej zawartości wilgoci i substancji organicznych oraz mineralnych chloru, sodu, potasu) powoduje szereg problemów technicznych i eksploatacyjnych w kotłach opalanych węglem [2]. Biomasę jako paliwo w energetyce można spalać w różnoraki sposób, najczęstszymi sposobami jest jej bezpośrednio spalanie w specjalnych kotłach ze złożem fluidalnym, które charakteryzują się bardzo dużą sprawnością podczas procesu spalania i stabilnymi warunkami pracy. Drugim najczęściej wykorzystywanym sposobem spalania biomasy jest jej

współspalanie wraz z węglem w kotłach energetycznych pierwotnie zaprojektowanych do spalania węgla kamiennego bądź brunatnego. Dużo większym zainteresowaniem naszej krajowej energetyki i ciepłownictwa cieszy się drugi sposób spalania biomasy wraz z węglem w istniejących już blokach cieplnych. Rozwiązanie to wydaje się najkrótszą drogą, która zapewnia, że biomasa spalana w dużych kotłach energetycznych będzie wykorzystana jak najlepiej i stopień konwersji energii chemicznej w niej zawartej na energię elektryczną i ciepłą będzie najwyższy. Wszystkie najnowsze prace badawcze doświadczenia eksploatacyjne, zwłaszcza te w obszarze współspalania biomasy z węglem zmierzają do optymalizacji tego procesu i do ograniczenia emisyjności.

Proces współspalania biomasy z paliwami kopalnymi w dużych blokach energetycznych zdaje się w dzisiejszych czasach rozwiązaniem najbardziej optymalnym racjonalnym gdy zasoby biomasy są oddalone o około 50-70 km od miejsca jej spalania. W elektrowniach i elektrociepłowniach, w których realizuje się współspalanie biomasy z węglem, zauważamy kompensację okresowych zmian jakości i ilości biomasy a także stabilizację całego systemu paliwowego. Niskie koszty inwestycyjne oraz operacyjne współspalania paliw alternatywnych z węglem w blokach cieplnych w porównaniu do systemów cieplnych, w których stosuje się spalanie samej biomasy jest głównym powodem tak dużej popularności współspalania w Polsce i na świecie [3]. Współspalanie biomasy przynosi także inne wymierne korzyści. Mimo wszystkich zalet procesu współspalania biomasa nadal budzi zastrzeżenia operatorów kotłów energetycznych. Spowodowane jest to wieloma problemami natury logistycznej z biomasą (relatywnie drogi transport i magazynowanie) a także występowanie problemów technicznych, wśród których należy wymienić: współmielenie oraz podawanie paliwa do kotła, powstawanie osadów na ścianach ekranów kotła oraz powierzchniach wymienników ciepła i innych elementach kotła (szlakowanie, osady sypkie, żużlowanie), spiekanie a także korozja chlorkowa i wysokotemperaturowa. Duża 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. 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.

## **2. METODY PRZEPROWADZANIA PROCESU WSPÓŁSPALANIA BIOMASY Z WĘGLEM**

Współspalanie biomasy z węglem można przeprowadzać na kilka sposobów, poniżej zostaną scharakteryzowane najważniejsze metody przeprowadzania tego procesu w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych. Każdy z poniższych wariantów ma swoje wady jak i zalety, przed wprowadzeniem typu danego rozwiązania technologicznego ważne jest wzięcie pod uwagę szeregu czynników. Oto najbardziej rozpowszechnione metody współspalania węgla kamiennego i brunatnego z odnawialnymi źródłami energii jaką jest biomasa:

1) Bezpośrednie współspalanie biomasy jest stosowane w momencie, gdy w trakcie procesu spalania, który jest realizowany w jednej komorze paleniskowej strumienie biomasy i węgla są dostarczane oddzielnie lub też, co jest bardzo szeroko stosowane w naszej krajowej energetyce wcześniej przygotowana mieszanka biomasy i węgla. Jest to najczęściej stosowany sposób współspalania paliw alternatywnych z paliwami konwencjonalnymi w Polsce i związane jest to z niskich kosztów inwestycyjnych, które należy ponieść w celu modernizacji istniejących bloków energetycznych do procesu.

2) Pośrednie współspalanie, jest realizowane w momencie, gdy:

- przeprowadzone jest zgazowanie biomasy w specjalnym gazogeneratorze, a powstający gaz jest transportowany do komory paleniskowej, gdzie w specjalnych palnikach gazowych ulega spalaniu

- spalanie biomasy jest przeprowadzane w przedpalenisku, a entalpia zawarta w powstających spalinach jest wykorzystywana w bezpośrednio w wymiennikach ciepła lub w komorze spalania. Układy, które wykorzystują instalacje do procesu pirolizy, gazyfikacji bądź przedpaleniska są mało popularne. Mimo, tego iż posiadają one wiele zalet takich jak między innymi sposobności utrzymania jakości popiołu, wymaganej przez zewnętrznych odbiorców, z procesu współspalania biomasy dzięki rozdzielaniu strumienia popiołu z danych paliw oraz możliwości wykorzystania na procesy energetyczne niekonwencjonalnych paliw, które są wytwarzane z odpadów przemysłowych czy też komunalnych bez zagrożenia powierzchni ogrzewalnych kotła agresywnym środowiskiem osadów i spalin, układy tego typu są bardzo drogie w wprowadzeniu [4].

3) Współspalanie w układzie równoległym to taki rodzaj współspalania, w którym każde paliwo zarówno węgiel jak i biomasa są spalane w oddzielnych komorach spalania, w których proces spalania przebiega w sposób indywidualnie przygotowany i kontrolowany. Jednym z przykładów współspalania równoległego jest układ hybrydowy, który to układ opisuje się jako specjalny układ jednostek wykorzystujących do współspalania specjalnie przygotowaną biomasę i węgiel oraz produkujących parę na wspólnym kolektorze parowym. Zazwyczaj proces współspalania w systemie hybrydowym są kotły pracujące w zakładach papierniczo-celulozowych.



Rys.1. Elektrociepłownia Alholmens (Finlandia), w której realizowany jest proces współspalania biomasy

Wszystkie z wymienionych metod jest wykorzystywana w naszym kraju i na świecie, aż 70% energii produkowanej z odnawialnych źródeł energii w Polsce pochodzi z procesu

współspalania biomasy. Sprawia to, iż niezmiernie ważnym zagadnieniem w przeprowadzaniu tego procesu, jest jego sprawność i stabilność. Niestety bardzo często firmy produkujące dany rodzaj kotła energetycznego zastrzegają sobie w umowach gwarancyjnych, że jeżeli w kotle będzie się spalało więcej niż 10% paliwa innego niż, pierwotnie przewidziane, to wówczas eksploatacja traci gwarancję na jego kocioł.

### ***3. WADY I ZALETY PROCESU WSPÓLSPALANIA BIOMASY Z PALIWAMI KOPALNYMI***

Biomasa w porównaniu do węgla oprócz niższej wartości opałowej, gęstości energetycznej cechuje się wyższą niż węgiel zawartością takich związków alkaicznych jak potas, wapń czy fosfor. Także w dużej ilości przypadków, na przykład gdy mamy do czynienia z roślinami jednorocznymi takimi jak słoma czy też kora i liście drzew biomasa zawiera dużo większą ilość chloru. Podwyższona zawartość chloru prowadzi zazwyczaj do zwiększonej korozji powierzchni ogrzewalnych kotła a także do zwiększenia depozycji osadów podczas bezpośredniego spalania biomasy. Jedną z pozytywnych cech biomasy, a przede wszystkim biomasy drzewnej są dużo niższe zawartości siarki i popiołu w porównaniu do zawartości tych związków w węglu. Istotną cechą wszystkich mieszanek paliw kopalnych i niekonwencjonalnych jest ich całkowita addytywność właściwości fizyko-chemicznych organicznych substancji biomasy i węgla. Wadą natomiast jest brak addytywności pomiędzy zawartymi w tych paliwach substancji mineralnych i to powoduje szereg problemów. Zupełnie inna niż u węgla włóknista budowa struktur biomasy oraz inne właściwości fizykochemiczne są powodem, iż jest ono paliwem kłopotliwym technologicznie, które bardzo różni się od węgla, który jest spalany w kotłach energetycznych. Wśród największych różnic pomiędzy biomasą a węglem należy wymienić:

- Jakościowo przybliżony skład chemiczny przy znacznych różnicach w składzie ilościowym
- Duże większa zawartość wilgoci w biomacie surowej co wpływa negatywnie na sprawność procesu spalania,
- Wysoka zawartość części lotnych w biomacie (2,5-krotnie wyższa niż w węglu kamiennym), co powoduje zmianę warunków zapłonu i spalania
- Zawartość popiołu w słomie wykorzystywanej na cele energetyczne jest bliskiego rzędu jak dla węgla kamiennego, natomiast dla roślin energetycznych mieści się w zakresie 2 - 6%, a jedynie dla odpadów drzewnych jest bardzo niska i wynosi < 1 %,
- Zawartość azotu i siarki w biomacie jest niska, ale duża jest zawartość chloru, zwłaszcza w przypadku słomy, co bardzo zwiększa ryzyko korozji powierzchni ogrzewalnych,
- Większość rodzajów biopaliw stałych wykazuje stosunkowo niskie temperatury mięknięcia i topnienia popiołu w porównaniu z węglem, głównie z powodu dużej zawartości związków metali alkalicznych,
- Niższa niż u węgla wartość opałowa zwłaszcza biomasy świeżej nie przesuszonej wstępnie,
- Niższa gęstość nasypowa biomasy w porównaniu do węgla wpływa na czas przebywania paliw alternatywnego jakim jest biomasa w komorze paleniskowej [5].

Proces współspalania biomasy w blokach cieplnych, w których znajdują się kotły pyłowe opalanych i pierwotnie zaprojektowanych na konwencjonalne paliwa węglowe i wytwarzając w wyniku tego spalania popiół, który ma często przeznaczenie do produkowania materiałów budowlanych, powoduje iż operatorzy tych kotłów muszą posiadać wiedzę na temat związku jaki ma udział biomasy na jakość powstających popiołów. Główne substancje mineralne w biomacie mają największy wpływ w procesach spalania, pirolizy i zgazowania. Najważniejszymi składnikami popiołów powstających ze spalania biomasy są:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  i  $\text{K}_2\text{O}$ , natomiast węgla kamiennego są:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Produkty uwalniane w trakcie

termicznej przemiany biomasy (zwłaszcza słomy) wśród których są metale alkaliczne, siarka i chlor są głównym sprawcą tzw. korozji wysokotemperaturowej. Niektóre składniki mineralne biomasy natomiast mogą być czasami potencjalnymi prekursorami katalizy bądź samymi katalizatorami procesów zgazowania i pirolizy (przykładem takim jest KCl w trakcie pirolizy słomy). Dzięki poprawne dla danego rodzaju kotła dobranie biomasy i surowca węglowego pamiętając o ich składzie chemicznym i właściwościach można kształtować właściwości powstającego w wyniku współspalania popiołu [6].

Zalety stosowania procesu współspalania biomasy:

- Proces współspalania podlega stabilizacji przez spalanie węgla
- Możliwość niemalże natychmiastowego wykorzystania biomasy w dużej skali
- Dużo niższe emisje tlenków azotu, dwutlenku siarki oraz dwutlenków azotu (dla paliw kopalnych), większa elastyczność kotła, brak uzależnienia produkcji energii elektrycznej od zapasów i dostępności biomasy (możliwość natychmiastowego przejścia na węgiel) co jest bardzo korzystnym zjawiskiem dla operatora systemu energetycznego

Najważniejsze wady stosowania współspalania biomasy:

- Kompleksowy proces wstępnego przygotowania biomasy (suszenie, rozdrabnianie) do jej współspalania, związane również z przygotowaniem odpowiedniej infrastruktury magazynowej
- Duża konkurencja wśród konsumentów biomasowych oraz cena biomasy
- Obniżenie sprawności i wydajności kotła
- Szereg efektów ubocznych takich jak szlakowanie powierzchni ogrzewalnych związanych ze składem substancji mineralnej biomasy.

Główne problemy związane z negatywnym wpływem biomasy na zanieczyszczenie powierzchni ogrzewalnych kotła został scharakteryzowany i opisany poniżej:

- Dodawanie paliwa o niższej wartości opałowej i wyższej zawartości wilgoci, jakim jest biomasa drzewna, powoduje wzrost strumienia wody wtryskowej, który przy dostarczaniu 20% paliwa biomasy do głównego strumienia paliwa jaki kierowany jest do palników wzrasta o 50% w stosunku do stanu podczas spalania samego węgla. W celu rozwiązania tego problemu stosuje się zasilanie drewnem dolnych palników kotła aby obniżyć jadro płomienia, czasem niestety konieczna jest rozbudowa instalacji wtryskowej.
- Współpalając z węglem biomasę typu słoma należy brać pod uwagę fakt, że charakteryzują się one niską zawartością substancji mineralnych co powoduje, że w trakcie współspalania uzyskuje się zmniejszony strumień popiołu pomimo powiększenia łącznego strumienia paliwa.
- Współspalanie słomy wywiera najmniejszy wpływ na wymianę ciepła w kotle. Słoma natomiast spalana razem z węglem powoduje poważne zagrożenie korozją chlorkową. Problem ten można rozwiązać poprzez właściwe dobranie charakterystyki węgla.
- Niemalże wszystkie typy biomasy drzewnej charakteryzują się dużo większą a niżeli węgiel skłonnością do tworzenia osadów popiołowych. Wynikiem tego jest podwyższenie straty wylotowej i spadek sprawności kotła.
- Zanieczyszczenia kotłów podczas współspalania biomasy z węglem można ograniczyć stosując specjalnie przygotowane zdmuchiwanie popiołu.

- Podczas łączenia spalania biomasy z węglem dochodzi do wzrostu ilości popiołu unoszonego spalinami. W wyniku tego efektywność grzewcza powierzchni ogrzewalnych kotła maleje razem ze wzrostem udziału biomasy w głównym strumieniu paliwa. Dodatkowo dochodzi do wzrostu zanieczyszczeń na skutek dostarczania do popiołu lotnych składników o bardzo drobnej granulacji, które powstają w wyniku kondensacji i zestalenia lotnych frakcji mineralnych. Zwłaszcza podczas współspalania biomasy o dużej zawartości sodu i potasu zjawisko to może mieć bardzo duże znaczenie. Spadek stopnia efektywności grzewczej wymienników rekuperacyjnych powoduje zmniejszenie sprawności kotła, gdyż wzrasta temperatura spalin wylotowych i strata wylotowa z nią związana [7].

Wykorzystywanie w trakcie procesu współspalania biomasy wilgotnej powoduje zwiększenie zawartości wilgoci w mieszaninie pyłowo-powietrznej z młynów a także gwałtowne obniżenie jej temperatury. Niekiedy może to zostać zrekomensowane poprzez zwiększenie pracy wentylacji oraz podwyższeniem temperatury powietrza dostarczanego do młynów. Dodanie biomasy powoduje obniżenie wydajności młyna (w przeliczeniu na energię paliwa jaka jest dostarczana do kotła), co przy ograniczonych zapasach biomasy powoduje niedotrzymanie należytej wydajności kotła. Pogorszeniu znacznie ulega również dynamika młynów, ze względu na ich większe obciążenie spowodowane zupełnie inną niż u węgla włóknistą strukturą biomasy. Aby utrzymać dynamiki zmiany obciążeń młynów oraz wymaganą wydajność kotła, niezbędna się staje zwiększenie przy tej samej ilości paliwa kopalnego liczby młynów. Dodatkowy młyn będzie pracował tylko na węglu kompensując negatywny wpływ biomasy na resztę pracujących młynów. Zwiększa to liczbę potrzeb własnych, w tym wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną młynów. Dochodzi do pogorszenia zdolności przemiałowych młynów i jakości mialu. Paliwo alternatywne w postaci biomasy ze względu na swoją włóknistą strukturę jest źle rozdrabniane i charakteryzuje się inną geometrią kształtu niż mial węglowy. Pogorszeniu przemialu sprzyja również większa wentylacja i w wybranych przypadkach konieczność pracy z otwartymi łopatkami separatora pyłu. Zaprojektowanie palników zlokalizowanych na przedniej ścianie komory paleniskowej, dochodzi do wystąpienia dużych prędkości wypływu mieszanki z tych palników co może być przyczyną przesunięcia płomienia na tylną ścianę a także w konsekwencji spowoduje wzrost emisji tlenu węgla w strefie przyściennej.

Uzyskanie planowanego zwiększonego udziału cieplnego biomasy w procesie współspalania wymaga wstępnej obróbki biomasy w osobnym systemie, z którego to byłaby ona podawana bezpośrednio do kotła bez stosowania młynów węglowych. Takie rozwiązanie wymusza to konieczność wstępnego rozdrobnienia biomasy a także jej suszenia do zadanego poziomu zawartości wilgoci. Metoda taka powoduje wzrost kosztów inwestycyjnych i obniża opłacalność stosowania procesu współspalania. W przypadku tego rozwiązania, paliwo alternatywne mogło by być podawane do komory paleniskowej poprzez specjalnie zaprojektowane palniki, który były by zlokalizowane nad bądź pomiędzy palnikami pyłowymi.

Wyżej wymieniony sposób realizacji współspalania w porównaniu z podawaniem biomasy bezpośrednio do młyna ma szereg zalet, które zostały umieszczone poniżej:

- pozwala na zwiększenie i stabilizację wydajności kotła,
- sprawia, iż układ podawania biomasy jest niezależny w stosunku do pracy i ograniczonej wydajności podajników, wentylatorów oraz młynów,
- umożliwia realizację współspalania z dużym stosunkiem biomasy do węgla w strumieniu paliwa,
- wzrasta zagrożenie spadku dynamiki kotła, możliwie, iż wzrośnie stabilność spalania, dojdzie do ograniczenia emisji  $\text{NO}_x$ , zmniejszy się minimum techniczne kotła

- będzie możliwe łatwiejsze kontrolowanie ilości podanej biomasy do kotła (gdyż będą się znajdować oddzielny palnik), co w konsekwencji pozwoli na proste rozliczanie ilości spalanej biomasy.

Metody i rozwiązania procesu współspalania opisane powyżej związane są z przeprowadzaniem tego procesu w kotłach z cyrkulacyjną warstwą fluidalną oraz w najczęściej stosowanych w naszym kraju kotłach pyłowych. Aspekty te nie będą natomiast dotyczyły młynów węglowych, które nie występują w kotłach ze złożem fluidalnym, nie zostaną jednakże rozwiązane bariery i trudności dotyczące dostarczania węgla do kotła. Możliwość stosowania różnego rodzaju paliw w instalacjach ze złożem fluidalnym jest sprawą znaną, natomiast zmiana wykorzystywanego paliwa czy lub też proporcji w jakich jest stosowane, musi być konsultowane za każdym razem w pracujących instalacjach oraz analizowane przez dostawców technologii aby określić parametry pracy lub dobrania składu złoża do zmian paliwa jakie są zaplanowane. Kotły fluidalne, szczególnie przy oddzielnym doprowadzeniu biomasy, wykazują się mniejszą wrażliwością na jej jakość a także pozwalają na jej większy udział. Kolejnym powodem niedotrzymania zadanej wydajności kotła występującym podczas współspalaniu biomasy w kotłach energetycznych jest zagrożenie ograniczoną wydajność pracujących wentylatorów spalin, które są instalowane dla mniejszej niż przy współspalaniu biomasy ilości spalin z węgla. Kolejnym dobrym rozwiązaniem dotyczącym współspalania może być również dobudowanie do kotła specjalnego rodzaju zgazowycza lub przedpaleniska o wydajności cieplnej, która zapewniała by zakładany udział biomasy do produkcji energii elektrycznej [8]. Tańszym rozwiązaniem wydaje się jest wykorzystanie przedpaleniska. Przedpalenisko składa się z komory spalania wewnątrz wymurowanej cegłą ogniotrwałą a z zewnątrz opancerzoną. Wewnątrz komory umiejscowiony jest ruszt schodkowy, który napędzany jest hydraulicznie a także ruszt dopalający o specjalnej konstrukcji. Dostarczanie realizowane jest na ruszt poprzez lej zsypany, natomiast żużel i popiół są odprowadzane poprzez leje do odżużlacza z zamknięciem wodnym. Znajdujące się w przedpalenisku spaliny są schłodzone do temperatury ok. 850 °C poprzez zastosowanie określonego nadmiaru powietrza do spalania i kierowane są do dolnej części leja komory paleniskowej. Ciepło jakie jest zawarte w spalinach z przedpaleniska oddawane jest do obiegu paro-wodnego kotła pyłowego. Kocioł taki pracuje na paliwie podstawowym, którym jest węgiel, a biomasa stanowi jedynie uzupełnienie wykorzystując entalpię spalin z procesu spalania biomasy w celu produkcji energii elektrycznej. Możliwe zalety tego typu rozwiązania układu technologicznego z przedpaleniskiem są następujące:

- jest niewielka ingerencja w istniejącą konstrukcję kotła pyłowego,
- pozbycie się zagrożeń z powodu akumulacji biomasy w młynach, gromadzenia się niespalonej biomasy na powierzchniach ogrzewalnych kotła, zasypywania rusztu dopalającego,
- możliwa jest do utrzymania pełna wydajność kotła na paliwie podstawowym przy odłączonym przedpalenisku (w chwili braku biomasy) oraz pracy w układzie dotychczasowym co wpływa na niskie koszty kapitałowe, możliwość zmiany paliwa a także jego parametrów w szerokich granicach, istnieje sposobność podawania wilgotnej nierozdrobnionej biomasy,
- oddzielenie instalacji spalającej biomasę od instalacji spalającej węgiel,

Wstępne zgazowanie biomasy w złożu fluidalnym stacjonarnym lub cyrkulacyjnym zostało opanowane technicznie, wymaga jednak wysokich nakładów inwestycyjnych, szacowanych na około 1/3 nakładów na budowę kotła fluidalnego o podobnej mocy cieplnej jak zgazowycza. Według firmy Foster Wheeler budowa zgazowycza jest opłacalna

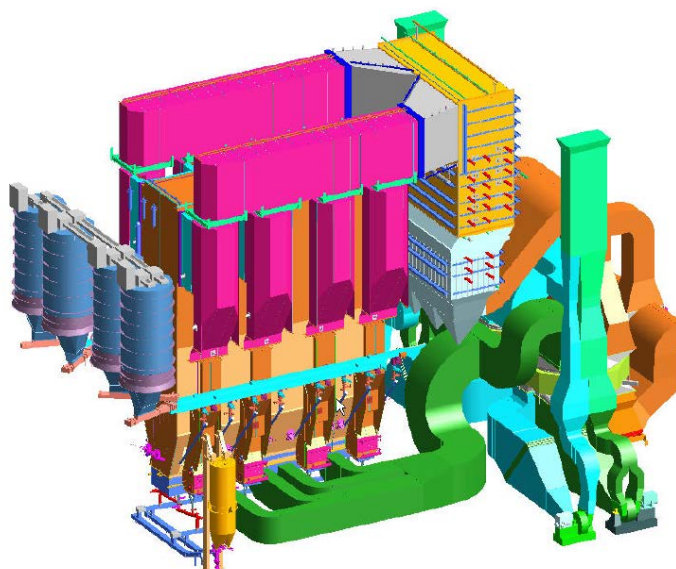
dopiero od wydajności cieplnych ok. 40 MW. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość utylizacji obok biomasy również innych paliw odpadowych, pod warunkiem zabudowy dodatkowych instalacji oczyszczania gazu. Przyjęcie takiej opcji przez energetykę zawodową jest obecnie mało prawdopodobne ze względu na wysokie koszty inwestycyjne oraz konieczność zmiany statusu.

#### ***4. RODZAJE KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO SPALANIA I WSPÓLSPALANIA BIOMASY***

W energetyce zawodowej największą grupę kotłów stanowią kotły zasilane paliwami stałymi, wśród tych paliw zwłaszcza w naszym kraju dominuje węgiel kamienny i brunatny, ale również coraz częściej i na coraz to większą skalę biomasa. Biomasa, która jest spalana w głównej mierze wraz z węglem w trakcie procesu współspalania. W Polsce najczęściej spotykanymi typami kotłów energetycznych większej mocy, w których spalana jest biomasa są trzy następujące rodzaje kotłów:

1) Kotły ze złożem fluidalnym: są to najnowocześniejsze rodzaje kotłów charakteryzujące się najwyższymi parametrami pracy i najlepszą sprawnością w trakcie procesu spalania. Kotły ze złożem fluidalnym charakteryzują się wieloma cechami, które pozwalają na którym optymalne warunki spalania biomasy. Materiał fluidyzujący najczęściej w postaci różnego rodzaju krzemionek o odpowiednim rozdrobieniu tworzy tzw. warstwę fluidyzującą, która pozwala na doskonałe rozprowadzenie ciepła po powierzchniach ogrzewalnych kotła (intensyfikacja wymiany ciepła) oraz znacznie poprawia sprawność spalania nawet najbardziej wilgotnej biomasy. Wśród zalet należy wymienić niski zakres temperatur spalania w komorze paleniskowej, brak stref spalania tak typowych do spalania w płomieniu pozwala znacznie ograniczyć emisję  $\text{NO}_x$  oraz tlenków siarki. Poprzez dodanie sorbentu wapiennego do paliwa wiązanie siarki bezpośrednio w złożu staje się możliwe, osiągana skuteczność odsiarczania kształtuje się na poziomie 50-98%, co daje możliwość spalania również paliw o znacznej zawartości siarki. Wapień jest używany do wytrącenia siarczanu podczas spalania, co pozwala również na bardziej efektywne odprowadzanie ciepła z kotła do urządzenia wykorzystywane do przechwytywania energii cieplnej (zwykle rury wodne). Podgrzewane osady przebywające w bezpośrednim kontakcie z rurami (wymiana ciepła zachodzi przez przewodzenie) zwiększa wydajność kotła. Niestety, spalanie w niskich temperaturach, powoduje wzrost emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych WWA. Istnieją dwa najważniejsze powody, dla których jest zauważalny tak szybki wzrost wykorzystywania kotłów ze złożem fluidalnym (FBC) energetyce zawodowej. Po pierwsze, szerokie możliwości w spalaniu różnego typu paliwa, co jest niezmiernie istotne przy spalaniu biomasy, która bardzo często odznacza się dużymi wahaniami zawartości wilgoci oraz dużą zawartością substancji powodujących spiekanie powierzchni ogrzewalnych. Drugim powodem, który staje się coraz ważniejszy, jest możliwość uzyskania, podczas spalania, niskiej emisji tlenków azotu i możliwość usuwania siarki w prosty sposób za pomocą kamienia wapiennego jako materiału złoża.





Rys.2. Koncepcja kotła z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym CFB (z ang. *Circulating Fluidised Bed*) o mocy cieplnej 800MW zasilanego biomasą, źródło: VTT Finlandia

Kotły fluidalne mają w swojej budowie kształt pionowego cylindra. W dolnej części kotła mieści się złożo stałego materiału inertnego, którym jest zazwyczaj piasek (np. , które jest fluidyzowane powietrzem podawanym przez dno dyszowe. Proces spalania w kotłach fluidalnych przebiega w przedziale temperaturowym 750-950 °C (niższym w porównaniu do kotłów pyłowych). Współczynnik przenikania ciepła od warstwy fluidalnej do powierzchni w niej zamkniętej wynosi 280-570 W/(m<sup>2</sup>·K). Poniżej temperatury 750 °C następuje pogorszenie się warunków utleniania węgla i powstaje CO. Po przekroczeniu 950 °C następuje mięknięcie i spieknięcie popiołu, złożo traci swój sypki charakter i drobnoziarnistą strukturę. W celu utrzymania określonego zakresu temperatur należy odpowiednio regulować strumień wytwarzającego i odbieranego w złożu ciepła. Aby regulacja była optymalna należy do złoża doprowadzić materiał warstwy fluidalnej i utrzymać duże ilości popiołu. Pozytywną cechą kotłów fluidalnych jest nieskomplikowany sposób odsiarczania i odazotowania spalin. Zmniejszenie powstawania NO<sub>x</sub> możliwe jest dzięki niskiej temperaturze spalania. Odsiarczanie można realizować tzw. metodą suchą, czyli poprzez dodatek sorbentu (np. kamienia wapiennego) do materiału warstwy, który wiąże siarkę, nie dopuszczając do jej utlenienia do SO<sub>2</sub>.

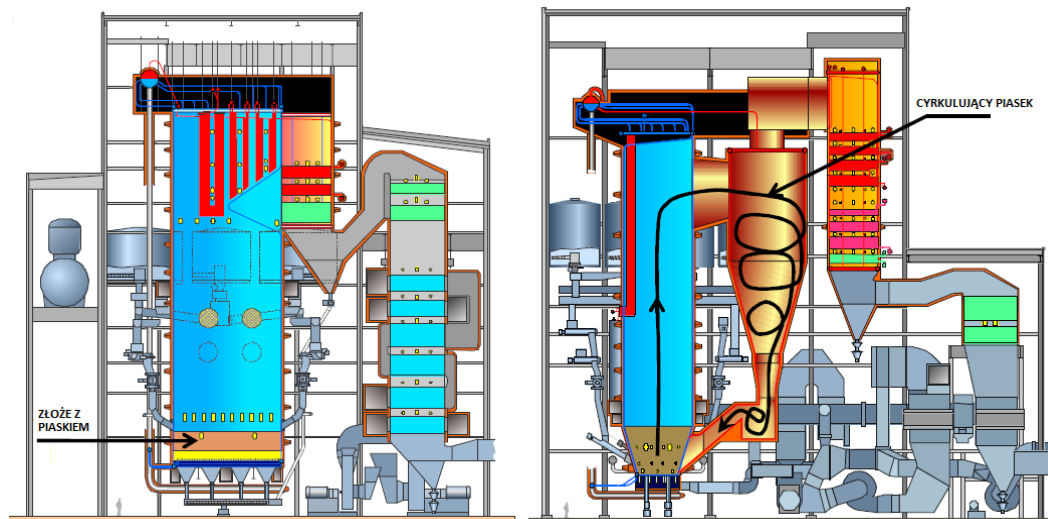
Odpady wprowadzane są bezpośrednio do objętości złoża, od góry lub z boku pieca w zależności od konstrukcji kotła. Podgrzane powietrze jest wprowadzane za pomocą dysz, tworząc złożo fluidalne z mieszaniny złoża i odpadów w komorze spalania. Spalanie odbywa się w przedziale temperatur 750-950 °C. Poniżej temperatury 750 °C pogarszają się warunki utleniania odpadów i w spalinach występuje znaczne stężenia tlenku węgla CO (wzrost straty niepełnego spalania). Powyżej temperatury 950 °C następuje proces spieknięcia i mięknięcia złoża przez co traci on swoją sypką i drobnoziarnistą strukturę.

Najważniejsze rodzaje kotłów fluidalnych:

- Kotły z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym CFB (z ang. *Circulating Fluidised Bed*). W kotle fluidalnym CFB prędkość powietrza fluidyzacyjnego jest tak odpowiednio dobrana, aby część piasku stanowiącego złożo była unoszona i przemieszczana w przestrzeni kotła. Złożo kolejno trafia do cyklonów, a następnie trafia z powrotem do kotła poprzez kanał recyrkulacyjny. Kotły z cyrkulującym złożem stosuje się w instalacjach o dużej przepustowości. Podwyższona prędkość powietrza fluidyzującego powoduje wzrost turbulencji w kotle

zwiększając przez to parametry wymiany ciepła pomiędzy spalonymi cząsteczkami biomasy a powierzchniami ogrzewalnymi kotła.

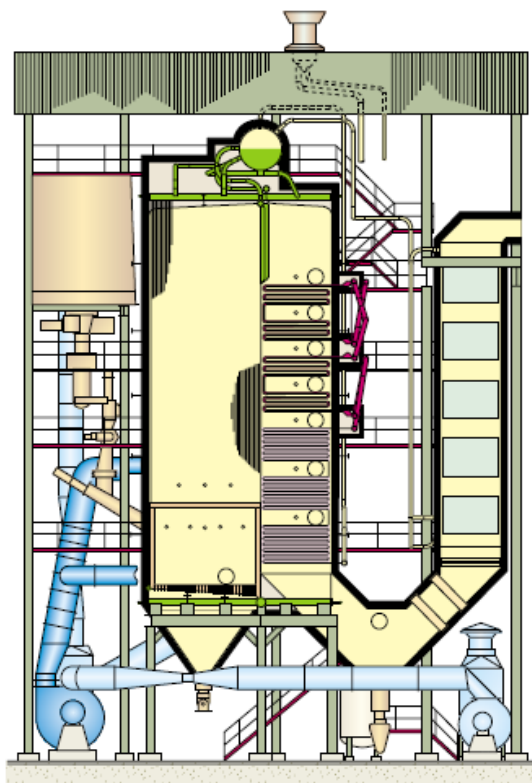
- Kotły ze stacjonarnym (pęcherzykowym) złożem BFB (z ang. *Bubbling Fluidised Bed*). W kotłach tego typu po doprowadzeniu powietrza fluidyzacyjnego dochodzi do rozluźnienia, a następnie do ponownego unoszenia złoża. W odróżnieniu do kotłów ze złożem cyrkulacyjnym, złożo nie ulega przemieszczaniu się w przestrzeni kotła.



Rys.3. Kocioł z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym zasilany biomasa, źródło: katalog produktów firmy Metzo

2) Kotły pyłowe: najpopularniejsze typy kotłów wykorzystywane w polskiej energetyce zawodowej co potwierdza ich największy udział w zainstalowanej w naszym kraju mocy elektrycznej. Kotły pyłowe posiadają oddzielny układ podawania paliwa stosowany do doprowadzania biomasy i odpadów. Kotły pyłowe mają również bardzo nowoczesne instalacje do oczyszczania spalin, które pozwalają na spełnienie wymagań związanych z emisjami, gdyż współpracują bardzo często z instalacjami półsuchego i mokrego odsiarczania spalin.

3) Kotły rusztowe: ten typ kotłów stosowany jest w elektrowniach i elektrociepłowniach bardzo małej mocy. Kotły te spełniają zazwyczaj rolę szczytowych źródeł ciepła w elektrowniach i elektrociepłowniach dużej mocy. Kotły rusztowe posiadają zazwyczaj w swojej budowie słabo rozbudowaną instalację do oczyszczania spalin a także mało skomplikowane cyklony, czasem elektrofiltry oraz instalację do odpylania, co sprawia że są rzadziej wykorzystywane niż pozostałe dwa typy kotłów do współspalania biomasy. Słabo rozwinięty system oczyszczania spalin powoduje, że ten typ kotłów nie jest w wielu przypadkach w stanie spełniać wymagań emisyjnych podczas współspalania biomasy z paliwami kopalnymi. Duże, kosztowne nakłady inwestycyjne w celu modernizacji kotłów rusztowych są powodem, że kotły te bardzo rzadko są wykorzystywane w celu współspalania biomasy.

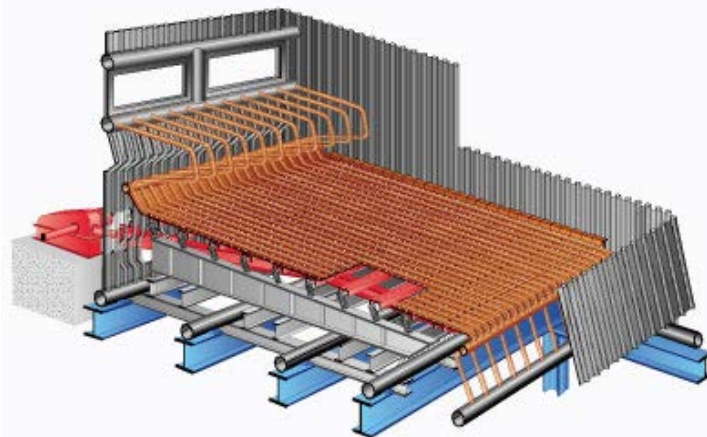


Rys.4. Kocioł z bąbelkowym złożem fluidalnym zasilany biomasą, źródło: VTT Finlandia

W duńskich elektrociepłowniach nowej generacji zasilanych słomą został zastosowany unikalny system dozowania bali słomy, która to odznacza się właściwościami paliwowymi nie obniżającymi sprawności procesu spalania. System ten jest zautomatyzowany, bardzo stabilny i łatwy w obsłudze. Specjalistyczne systemy przeciwpożarowe chronią w elektrociepłowni magazynowane paliwo przed pożarem, samozapłonem i zagłuszeniem przez co poprawiają bezpieczeństwo pracy całego zakładu. Bele słomy są w nich dostarczane do magazynu transportem drogowym. Infrastruktura magazynowa jest w pełni zautomatyzowana, specjalnie żurawie są wykorzystywane do podnoszenia bel, aby jednocześnie sprawdzić ciężar i zawartość wilgoci w słomie. Bele są w kolejnym etapie przechowywane bądź dostarczane bezpośrednio na automatyczne transportery do układu zasilania paliwem. Specjalnie zaprojektowany automatyczny nóż tnący kawałki sznurków i formuje paliwo, a w celu zwolnienia miejsca paliwo przed nim jest podawane do kotła. Spulchniarki są przygotowane i zaprojektowane do przyszłej modernizacji paliw wtórnych, takich jak wióry, pelety lub inne paliwa granulowane. Z upływem lat, układ zasilania belami słomy okazał się bardzo skutecznym w elektrociepłowniach wielu duńskich miast dzięki bezawaryjnej pracy i dużej dostępności roślin.

Opisane powyżej elektrociepłownie pracujące z wykorzystaniem kotłów na biomasę wyróżniają się z pośród innych elektrociepłowni tym, iż wykorzystują do spalania unikalne ruszty wibracyjne, które są chłodzone wodą. Tego rodzaju rozwiązanie okazało się być najbardziej efektywnym systemem spalania, przede wszystkim dla paliwa pochodzących z roślin zielnych i drzewiastych, które są niezmiernie kłopotliwym paliwem do spalania. Ruszt wibracyjny chłodzony wodą jest jednym z najbardziej niezawodnych systemów spalania na świecie. Drgania na ruszcie hamują proces powstawania dużych cząstek żużla, które są niepożądane podczas spalania słomy i innych typów biomasy. Powodują to, że do tego rodzaju rusztu nadają się paliwa, które charakteryzują się wysoką skłonnością do żużlowania i spiekania. Dodatkową cechą rusztu wibracyjnego jest brak wymagań częstej konserwacji w

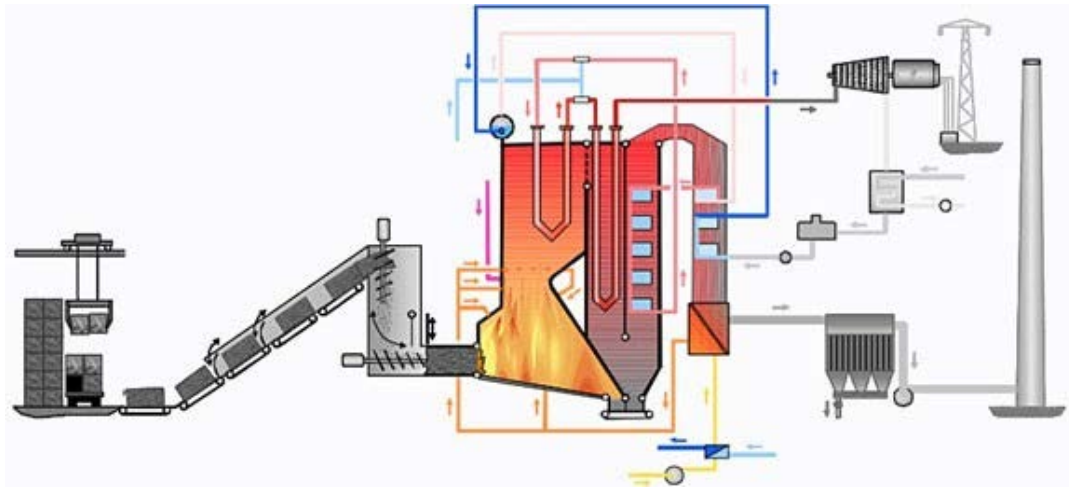
porównaniu do innych rusztów ruchomych, ponieważ ma mniej ruchomych części. Chłodzony wodą ruszt wibracyjny jest w pełni zautomatyzowany i dzięki temu bardzo wydajny co przyczyniających się do uzyskiwania wysokich sprawności kotła na poziomie 90-92%. Wyjątkowy ruch wibracyjny oraz odpowiednio zaprojektowany system dystrybucji powietrza, który powoduje, że proces spalania jest wydajniejszy ponieważ spalanie przebiega równomiernie na ruszcie. Słoma jest spalana na chłodzonym wodą ruszcie wibracyjnym, ruchy wibracyjne regulują poszczególne etapy spalania. Część powietrza przeznaczonego do spalania podawana jest do kotła od dołu rusztu a następnie powietrze do spalania jest doprowadzane do pieca przez dysze umieszczone powyżej rusztu. Strefa, w której dochodzi do zapłonu rusztu jest stabilizowana poprzez opatentowany system zapłonu powietrzem. Ruch wibracyjny przeprowadzany jest w cyklach na przemian pomiędzy 1,5 - 3 minuty na okres czasu 3 - 5 sekund. Żużel oraz popiół są transportowane w dół rusztu gdzie następuje zrzut żużla oraz końcowe wypalenie paliwa. Dochodzi do zwiększenia różnorodności paliwa: ruszt wibracyjny jest jednym z niewielu rusztów, w którym kraty są w stanie skutecznie pomieścić mieszaniny drzewiastych oraz pozostałych rodzajów biomasy pochodzenia leśnego.



Rys. 5. Wibracyjny kocioł rusztowy chłodzony wodą, na którym odbywa się proces spalania biomasy, źródło: katalog produktów DP CleanTech.

Kotły z rusztem wibracyjnym do spalania słomy charakteryzują się wysokimi parametrami pracy, wysokim ciśnieniem oraz wysokiej temperatury [9]. Zwiększone parametry pracy pozwalają przyspieszyć przepływ pary a także zwiększają sprawność elektryczną elektrociepłowni. Kocioł parowy na słomę działa na wysokie parametry pary przy wysokim przepływie produkowanej pary generuje energię elektryczną przy sprawności 20% i 70% dla ciepłownictwa. Tak wysoka sprawność w wraz z dodatkowym odzyskiem ciepła z kondensacją spalin pozwalają uzyskać wydajność instalacji na poziomie 106%. Unikalna konstrukcja oraz odpowiedni dobór materiałów zapobiega procesom gnilnym i żrącemu działaniu słomy. Kocioł Rys.5. jest przygotowany i przeznaczony do przyszłej modernizacji paliw wtórnych, takich jak wióry, granulaty lub innych paliw w postaci granulatu. Niskie temperatury gazów spalinowych oraz skuteczny wynik spalania przy osiągnięciu wyższej sprawności kotła (92%) to główne czynniki pozytywnie wpływające na wydajność całego systemu. Popiół oraz inne pozostałości powstające w wyniku spalania biomasy mają dużą zawartość metali alkalicznych, które mogą prowadzić do korozji. Związki  $SO_x$  i Cl w spalinach są przyczyną korozji oraz procesów szlakowania powierzchni ogrzewalnych kotła.





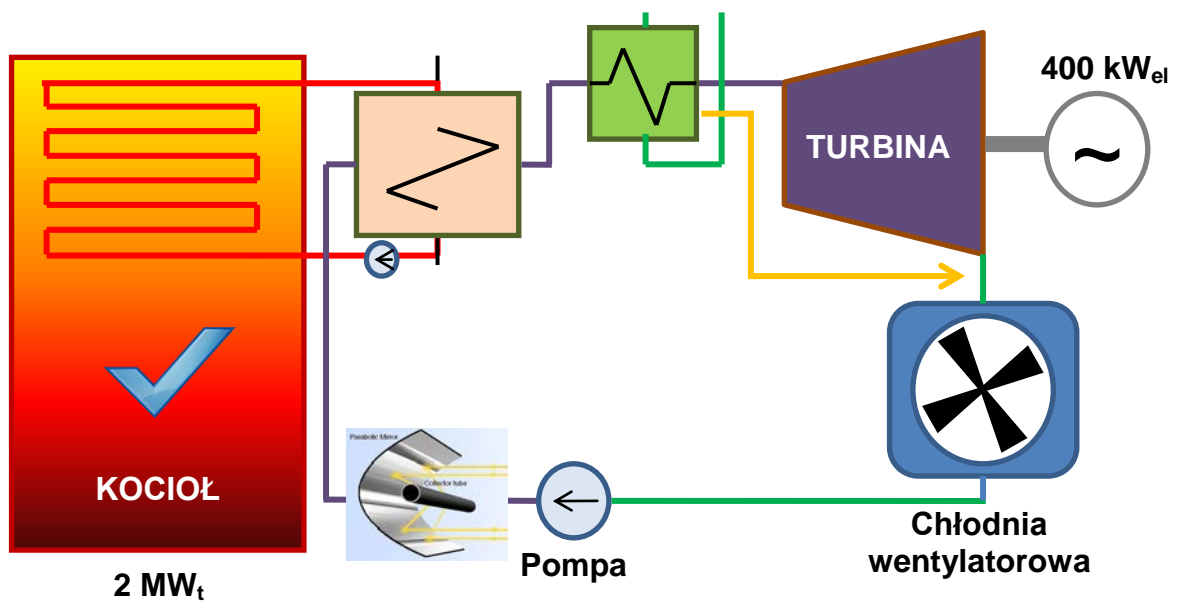
Rys. 6. Schemat wysokociśnieniowego, wysokotemperaturowego kotła na słomę firmy DP CleanTech, źródło: katalog produktów firmy DP CleanTech

## 5. BIOMASA WYKORZYSTYWANA W ENERGETYCE ROZPROSZONEJ

Biomasa ze względu na swoją naturę i rozproszone występowanie powinna być wykorzystywana lokalnie, najbliżej od źródła zasobów. Duża, zawartość wilgoci, niska gęstość energetyczna oraz niewysoka wartość opałowa sprawiają, że transport biomasy na odległości większe niż 50 km bardzo często nie jest opłacalny. W Niemczech w obecnej chwili odchodzi się stopniowo od energetyki jądrowej na rzecz energetyki ze źródeł odnawialnych a w szczególności skupia się na wykorzystaniu w lokalnych elektrociepłowniach biomasy do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Jednym z przykładów w naszym kraju i regionie wykorzystania biomasy, a dokładnie słomy jest koncepcyjna elektrociepłownia hybrydowa produkująca energię elektryczną i ciepło przy wykorzystaniu w głównej mierze biomasy a także energii ze słońca i wiatru. Balety ze słomy to główne paliwo jakie będzie spalane w kotłach wsadowych charakteryzujących się wysoką sprawnością konwersji energii chemicznej w niej zawartej. Pomimo gorszych właściwości paliwowych słomy w porównaniu z węglem, z których należy wymienić niską kaloryczność, wysoki stopień zawilgocenia oraz w przypadku słomy wysoką zawartość chloru jest ona paliwem alternatywnym łatwodostępnym i łatwym do zagospodarowania lokalnie. Elektrociepłownia hybrydowa pracująca w układzie dwóch kotłów wsadowych na biomasę o mocy cieplnej 1MW będzie pracowała w połączeniu z turbiną w układzie ORC (z ang. *Organic Rankine Cycle*) wykorzystując czynnik niskowrzący i za pomocą generatora będzie produkowała energię elektryczną na poziomie bliskim 400 kW. Jak wcześniej wspomniano podstawowym paliwem w elektrociepłowni będzie słoma, która będzie transportowana z okolicznych pól uprawnych przez rolników [10]. Słoma w postaci balet będzie transportowana ciężarówkami na terenie elektrociepłowni będą dwa wjazdy w postaci bram, gdzie balety ze słomy będą podlegały kontroli (rozmiar, waga, zawartość wilgoci).

Słoma to paliwo zaliczane do odnawialnych źródeł energii, które ma największy potencjał wśród wielu innych typów biomasy w naszym kraju do wykorzystania w celu produkcji ciepła i energii elektrycznej szczególnie w energetyce rozproszonej. W składzie słomy należy wyróżnia się: włókno surowe i bezazotowe związki wyciągowe. Do niedawna słoma jako surowiec energetyczny nie odgrywała istotnej roli, nie wliczając jej wykorzystania w jako paliwa w indywidualnych siedliskach ludzkich do celów grzewczych. Obecnie w celu zrealizowania założeń związanych z ograniczeniem emisji dwutlenku węgla oraz zwiększeniem udziału odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie paliwowym lokalne

wykorzystanie słomy i innych rodzajów biomasy wydaje się najbardziej słusznym rozwiązaniem. Słoma jako paliwo charakteryzuje się dużą zawartością suchej masy (około 85%), posiada zdolność do chłonięcia wody i gazów. Bardzo często słoma jest wykorzystywana jako pasza a także jako podściółka w hodowli zwierząt gospodarskich natomiast do celów energetycznych wykorzystuje się jedynie jej nadwyżki. Dla celów energetyki słoma znajduje zastosowanie w postaci wszystkich rodzajów zbóż, rzepaku oraz gryki, przy czym za wyjątkowo cenną uchodzi słoma żytnia, rzepakowa, pszenna a także gryczana i osadki kukurydzy. W naszym kraju wytwarzanych jest około 26 milionów ton słomy rocznie, a około 10 milionów ton z tej sumy nie znajduje żadnego zastosowania i jest po prostu wypalana na polach. Wykorzystanie nadwyżek słomy na cele energetyczne pozwala uniknąć ich spalania na polach i marnowania energii. Niestety częsta praktyka wypalania na polach wyrządza wielkie szkody środowisku naturalnemu [11].



Rys.7. Schemat elektrowni hybrydowej zasilanej biomasą, energią słoneczną i energią z wiatru, źródło: opracowanie własne

Wartość opałowa suchej słomy wynosi w granicach 14-17 MJ/kg i uzależniona jest przede wszystkim od gatunku rośliny. Porównując parametry paliwowe i właściwości fizykochemiczne słomy z węglem, który charakteryzuje się wartością opałową rzędu 19-30 MJ/kg co w przeliczeniu na masę daje nam 1,5 tony słomy na 1 tonę węgla kamiennego. Wartość opałowa słomy zależy przede wszystkim od zawartości wilgotności. Zawartość wody w świeżej słomie waha się od 12 do 22% i jest głównie związana z rodzajem rośliny i warunków atmosferycznych przy jakich słoma była zbierana. Podwyższona zawartość wilgoci wpływa poza obniżeniem wartości energii w trakcie konwersji także na wzrost emisji zanieczyszczeń w spalinach i w konsekwencji na sprawność kotła. Jak już wcześniej zostało wspomniane w Polsce nasze rolnictwo produkuje niemalże 26 milionów ton słomy rocznie, z czego około 16 milionów przeznaczonych jest na cele rolnicze: siewka, czyli rozdrobniona słoma jest dodatkiem w paszach, zaorana słoma zwiększa ilość próchnicy w glebie a także wykorzystywana jest jako ściółka. Pozostałe 10 milionów ton jak wcześniej podano nie ma żadnego przeznaczenia i jest w większości wypalana na polach. Coraz częściej stajemy się świadkami zalegających na polach stogów i płonących ściernisk. A słoma jest przecież dobrym nośnikiem energii i biopaliwem, które nie tylko w małych kotłach, lecz i w dużych ciepłowniach przeznaczonych do ogrzewania budynków wielorodzinnych oraz osiedli.

Zostało obliczone, że koszty palenia słomą w kotłach małej mocy w porównaniu do węgla są niższe o ponad połowę. W kotłach większej mocy stosunek ten jest jeszcze bardziej korzystny na rzecz biomasy, gdyż koszty transportu są znacznie zredukowane. Jasną rzeczą jest również, że koszty opalania słomą są jeszcze mniejsze w momencie gdy słoma pochodzi z własnego gospodarstwa.

Słoma wykorzystywana celów grzewczych jest zbierana a następnie prasowana w bele bądź baloty oraz rozdrabniana w postaci ściętej siewki. Od paru lat słoma coraz częściej stosowana jest do celów energetycznych w postaci przetworzonej, czyli brykietów i pelet (słoma szara nadaje się najlepiej do tych celów). Można wyróżnić trzy sposoby spalania słomy:

- Spalanie słomy w tzw. systemie cygarowym, w kotłach dużej mocy w sposób ciągły (od kilku do kilkunastu MW).
- Okresowo-cykliczne spalanie ładunków słomy w tzw. kotłach wsadowych (kotły o małej mocy stosowane w lokalnych elektrociepłowniach i gospodarstwach domowych).
- Spalanie słomy pociętej w postaci ścinek o długości 5 do 10 cm w kotłach w ciągłym trybie ciągłym (kotły dużej mocy: od jednego do kilkunastu MW).

Wady słomy jako paliwa:

- obniżona w porównaniu do węgla temperatura topnienia popiołu sprawia że podczas spalania dochodzi do sporych zanieczyszczeń kotła, w tym do spiekania i szlakowania powierzchni ogrzewalnych, rurociągów i wymienników ciepła,
- niska gęstość energetyczna i nasypowa oraz wysoka zawartość części lotnych (co ma wpływ na transport oraz powoduje powstawanie szeregu problemów podczas spalania),
- zawartość chloru i potasu wpływa na zwiększone ryzyko powstawania korozji metalowych elementów pieca,
- słoma zawiera związki po środkach ochrony roślin i może dojść do ich wydzielenia się, są to zazwyczaj takie rakotwórcze substancje jak dioksyny i furany,
- duże powierzchnie i przestrzenie magazynowe umożliwiają utrzymanie wilgotności słomy w bardzo wysokich granicach rzędu 10-20% i w konsekwencji podwyższa aktywność procesów rozkładu biologicznego i gnilnego [12].



Rys.8. Proces szlakowania kotła zasilanego biomasą, źródło:

Zalety słomy jako paliwa:

- niska zawartość popiołu, który zawiera duże ilości tlenków wapnia, potasu i fosforu co sprawia, iż może być z powodzeniem użyty jako nawóz mineralny,
- możliwość długiego przechowywania w suchych pomieszczeniach,
- wytworzenie energii niskimi kosztami,
- zerowy bilans dwutlenku węgla, ponieważ przy spalaniu słomy nie powstaje więcej dwutlenku węgla niż jest pobierane z atmosfery w trakcie swojego wzrostu na potrzeby procesu fotosyntezy;
- mniejsza emisja tlenków siarki i azotu;

Słoma w dużym stopniu jest paliwem ekologicznym, tanim i dobrze służy środowisku naturalnemu, toteż z roku na rok rośnie zapotrzebowanie na jej produkcję. Na rynku pojawia się coraz więcej firm oferujących różnego rodzaju kotły, które są coraz bardziej udoskonalane, przez co zwiększają swoją sprawność i ułatwiają obsługę. Świeża żółta słoma zawiera w swoim składzie wiele metali alkalicznych i związków chloru, które wpływają na zwiększenie procesów korozji oraz powstawania żużla [13]. Dlatego zaleca się aby słoma, która ma być wykorzystana na cele energetyczne została poddana procesowi wędnięcia. Proces ten polega na wymywaniu tych szkodliwych związków przez opady atmosferyczne. Stopień wędnięcia świadczy o tym jak długo pozostawała na polu i była poddawana działaniu zmiennych warunków atmosferycznych, a następnie została wykoszona. Charakterystyczną cechą takiej słomy jest szary kolor w porównaniu do słomy świeżej, która ma kolor żółty.

Słoma przeznaczona na cele energetyczne zbierana jest za pomocą pras. Podstawowym parametrem warunkującym zbiór jest wilgotność, która nie powinna przekraczać 15%. Jeśli jest to możliwe to należy poddać słomę procesowi wędnięcia. Największą wydajnością charakteryzują się prasy formujące wielkowymiarowe bele prostopadłościenną o masie od 200 do 450 kg. Jest to najbardziej optymalna forma prasowania. Główna zaleta oprócz wydajności sięgającej 5ha/h jest kształt bel pozwalający na optymalne wykorzystanie środków transportu i powierzchni magazynowych. Bele ładowane są ładowaczami czołowymi lub za pomocą ciągniętej przyczepy samozbierającej [14]. Przyczepa taka automatycznie ładuje a w miejscu składowania rozładowuje zebrany surowiec układając w stertę. Słoma powinna być składowana natychmiast po sprasowaniu, aby uniknąć wchłaniania wilgoci z powietrza i zamakania.



## **LITERATURA**

- [1] Cocker-Maciejewska A.: *Obróbka wstępna biomasy na potrzeby systemów energetycznych*, Ochrona środowiska i zasobów naturalnych nr 30, 2007.
- [2] Jasak van Loo, Jaap Koppejan : *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*, Eartscan, Londyn Anglia 2008.
- [3] 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.
- [4] Rosillo-Calle, de Groot P., Hemstock S. L., Woods J. : *The Biomass Assessment Handbook Bioenergy for a Sustainable Environment* , Eartscan, Londyn Anglia 2008.
- [5] Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M. : *Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych*, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Politechniki Śląskiej , Zabrze 2007.
- [6] Zawadzka A., Imbierowicz M.i inni, 2010: *Inwestowanie w Energetykę Odnawialną*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska
- [7] Katalog produktów firmy DP CleanTech
- [8] S. Szufa, Z. Romanowska-Duda, M. Grzysik (2012), „Rośliny energetyczne i urządzenia dla przetwarzania i spalania biomasy”Monografia: „Inwestowanie w Odnawialne Źródła Energii”, PAN Komisja Ochrony Środowiska w Łodzi
- [9] S. Szufa, R. Jaworska, P. Popławski, T. Fijałkowski, P. Klonowicz (2012), „Koncepcja budowy lokalnej elektrociepłowni na biomasę w gminie Daszyna”Monografia: „Inwestowanie w Odnawialne Źródła Energii”, PAN Komisja Ochrony Środowiska w Łodzi
- [10] Oregon Wood Innovation Center. 2009. Energy from wood. Presented at the Forest Biomass Fast Pyrolysis Demonstration, Douglas County, August, 2009. (presentation)
- [11] Thermya. 2010. A continuous torrefaction process from France. Accessed 4/27/2010 at [www.thermya.com](http://www.thermya.com).
- [12] M. J. Prins, Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction, PhD thesis, Technical University of Eindhoven, 2005
- [13] Suárez, J.A., Luengo, C.A., Fonseca, F.F., Bezzon, G., and Beatón, P.A., 2000. Thermochemical properties of Cuban biomass, *Energy Sources*, 22, str. 851-867.
- [14] IEA 2005: Clean Coal Centre, Fuels for biomass cofiring, ISBN 92-9029-418-3.