

Techniczno-ekonomiczne aspekty wdrożenia technologii współspalania biomasy drzewnej z węglem w energetyce zawodowej

Testy współspalania biomasy drzewnej z węglem w skali przemysłowej

Najważniejszym obszarem wdrażania technologii współspalania biomasy drzewnej z węglem jest krajowa energetyka zawodowa. Dysponuje ona potężnym potencjałem produkcyjnym (w energetyce zawodowej spalono w 2001 roku ok. 59 mln ton węgla brunatnego i ok. 37 mln ton węgla kamiennego), przy czym, jak podaje K. Ney, nie wykorzystuje ok. 1/3 zainstalowanej mocy produkcyjnych. Początkiem działań zmierzających w kierunku przemysłowego wdrożenia tej technologii jest podjęcie wielozadaniowych programów badawczych, z równoczesną ich weryfikacją w testach pilotażowych w skali przemysłowej. Prace takie podjął Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla w Zabrze, w którym funkcjonuje Europejskie Centrum Doskonałości w zakresie „Termochemiczna przeróbka paliw stałych, procesy pirolizy, zgazowania i spalania biomasy i odpadów” oraz Zespół Laboratoriów Badawczych certyfikowany przez Polskie Centrum Akredytacji.

Wybrane wyniki z pierwszych badań procesu współspalania zrębków drzewnych z węglem kamiennym w skali przemysłowej, wykonanych przez Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla dla układu technologicznego kotła rusztowego WR-10, kotła fluidalnego CYMIC-135 oraz kotła pyłowego OP-130 przedstawiono w tabeli nr 1. Na szczególne podkreślenie zasługuje zaobserwowany fakt wystąpienia nadproporcjonalnego efektu obniżenia emisji SO_x , zanieczyszczeń organicznych i benzo(a)pirenu po dodaniu biomasy oraz wpływ dodatku biomasy na obniżenie zawartości części

palnych w żużlu i w popiele. Charakterystykę zrębków zastosowanych w omawianych próbach przedstawiono w tabeli nr 2.

Przedstawione w tabeli nr 1 pozytywne wyniki wykonanych badań powinny stanowić zachętę do podejmowania prac wdrożeniowych technologii współspalania biomasy drzewnej z węglem w kotłach węglowych.

Szacunkowa ocena kosztów produkcji wierzby energetycznej

Określenie kosztu wyprodukowania „paliwa wierzbowego” w chwili obecnej jest możliwe tylko w postaci kalkulacji szacunkowych, ponieważ znikoma ilość dostępnych danych rzeczywistych, uzyskanych z nielicznych prowadzonych dotychczas plantacji, nie daje podstawy do uśrednienia

Tabela nr 1
Zestawienie wybranych wyników badania pracy kotłów zasilanych węglem oraz mieszankami węgla i zrębków drzewnych

PARAMETR	jedn.	KOCIOL WR-10		K. CYMIC-135		KOCIOL OP-130		
		węgiel	miesz ^{*1}	węgiel	miesz ^{*2}	węgiel	miesz ^{*3}	
Wilgość całkowita	W_f	%	6,8	7,8	6,3	12,6	9,5	10,7
Części lotne	V^a	%	24,8	33,8	26,1	27,3	35,3	37,7
Popiół	A^a	%	8,3	7,1	25,2	28,2	11,8	11,2
Siarka całkowita	S^a	%	0,38	0,32	1,35	1,02	0,25	0,24
Wartość opałowa	Q_f^f	kJ/kg	28.405	25.811	22.510	18.766	25.143	24.324
Strumień masy paliwa	B_p	kg/h	1.216	1.316	19.145	23.382	14.460	12.290
Wydajność cieplna kotła	Q_k	MW	7.38	7.26	104.62	104.54	90.37	73.77
Sprawność kotła	η_k	%	85,2	82,4	87,4	85,79	91,7	91,1
Zawartość części palnych w żużlu	c_z	%	33,1	21,2	0,61	0,38	7,00	0,75
w popiele lotnym	c_{pl}	%			18,21	15,95	8,14	8,50
Emisja:								
CO	E_{CO}	g/GJ	119,8	133,2	35,2	41,4	8,8	8,7
SO ₂	E_{SO_2}	g/GJ	289,5	251,7	379,4	312,4	180,3	142,0
NO ₂	E_{NO_2}	g/GJ	149,1	112,5	109,2	94,9	147,0	148,2
Pył	E_{pyl}	g/GJ	734,7	1557,7				
Pył przed elektrofiltrem	E_{pyl}	g/GJ			11688	8647	3531,3	950,7
Pył za elektrofiltrem	E_{pyl}	g/GJ			6,6	8,0	18,5	26,0
Zanieczyszczenia organiczne	E_{org}	g/GJ	23,3	15,6	13,4	10,4	26,9	17,1
B(a)P	$E_{B(a)P}$	mg/GJ	5,6	2,3	7,7	3,8	53,9	46,0

*1 udział zrębków w mieszance: 9,3% wagowych w przeliczeniu na suchą masę, co stanowi udział objętościowy ok. 33%,

*2 udział zrębków w mieszance: 4,9% wagowych w przeliczeniu na suchą masę, co stanowi udział objętościowy ok. 20%.

Uwaga: Do sporządzenia mieszanki*2 użyto innego węgla niż w teście spalania samego węgla, wykonanym w ramach tych badań. Parametry węgla użytego do sporządzenia mieszanki: $A_a = 30,3$, $Sat = 1,22$, $Q_{ri} = 19.692$.

*3 udział zrębków w mieszance: 2,9% wagowych w przeliczeniu na suchą masę, co stanowi udział objętościowy ok. 11%.

statystycznych. Dostępne są jedynie dane pozwalające w miarę wiarygodnie określić koszty założenia plantacji wierzby energetycznej. Koszty corocznej pielęgnacji wieloletniej plantacji, jak również koszty zbioru plonów i ich przygotowania do wykorzystania w procesach produkcji energii mogą być określone wyłącznie na podstawie ocen szacunkowych.

Oszacowanie kosztów założenia 1 ha plantacji szybko rosnącej wierzby krzewiastej, wykonane przez J. Tworowskiego i M. Stolarskiego na podstawie wieloletnich doświadczeń Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, przy założeniu, że wszelkie prace związane z zakładaniem i prowadzeniem plantacji będą wykonywane przez usługodawcę zewnętrznego, zamknęło się kwotą 3.030 zł (bez kosztów zakupu sadzonek, przy założonej obsadzie 24.4 tys. roślin/ha). Zbliżoną wielkość dano również wyliczenie kosztów założenia plantacji wierzby energetycznej, wykonane przez J. W. Dubasa na podstawie kart technologicznych dla konkretnego 6-hektarowego gospodarstwa rolnego - 3.075 zł w przeliczeniu na 1 ha [bez kosztów zakupu sadzonek, przy obsadzie 30 tys. roślin/ha]. S. Szczukowski i J. Budny podają wielkość kosztu założenia plantacji wierzby 1.120 zł/ha (bez kosztów zakupu sadzonek), jednakże wielkość tę należy traktować jako ekstremalną, uzyskaną w wyjątkowo sprzyjających warunkach polowych.

Koszty zakupu sadzonek zależą od szeregu czynników (gdzie i ile kupujemy, jakie odmiany, czyj koszt transportu itp.) i przy poziomie cen 0,15-0,20 zł/szt. mogą wynosić 3.600-6.000 zł/ha. Koszty pozyskania sadzonek można zmniejszyć, zakładając w pierwszej fazie własne plantacje mateczne, które posłużą do produkcji sadzonek po kosztach własnych. Operacja taka rozciągnie okres od rozpoczęcia prac do uzyskania pierwszych plonów energetycznych. Wydłużając ten okres o jeden rok (zakładając plantację mateczną na obszarze ok. 1/6 areálu docelowego) można obniżyć koszty zakupu sadzonek do ok. 600-1.000 zł/ha. Wydłużenie dwuletnie (założenie plantacji matecznej na obszarze ok. 1/30

Określenie kosztu wyprodukowania „paliwa wierzbowego” w chwili obecnej jest możliwe tylko w postaci kalkulacji szacunkowych, ponieważ znikoma ilość dostępnych rzeczywiŝtych, uzyskanych z nielicznych prowadzonych dotychczas plantacji, nie daje podstawy do uśrednień statystycznych.

areálu docelowego) pozwala obniżyć ten koszt do ok. 120-200 zł/ha.

O wielkości kosztów ponoszonych w okresie całej eksploatacji będą decydować w dalszych latach koszty pielęgnacji i nawożenia oraz zbioru i przygotowania do sprzedaży. W chwili obecnej, jak już wspomniano, nie ma rzeczywistych danych dotyczących kosztów ścięcia ręcznego lub mechanicznego docelowymi urządzeniami. Nic wiadomo również, jakie będą koszty przygotowania biomasy do sprzedaży. W tym zakresie można jedynie opierać się na szacunkach wykonanych przez J. Tworowskiego i M. Stolarskiego, które określają ich wielkość na ok. 3.800 zł/ha w całym cyklu 3-letnim (z wykorzystaniem do zbioru kombajnu Claas Jaguar o wydajności ok. 40 ton biomasy na godzinę, rozdrabniającego pędy na zrębki o długości ok. 3 cm). Należy jednak pamiętać, że koszty pielęgnacji zawsze są zmienne, gdyż wpływa na nie wiele czynników, takich jak przebieg wegetacji, skala zagrożeń, rozkład temperatur i opadów, wrażliwość odmianowa na choroby itp.

Kolejnym istotnym czynnikiem jest wielkość uzyskanych plonów. Wieloletnie badania nad produktywnością klonów szybko rosnących wierzby krzewiastej przeprowadzone w Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego wykazały, że produktywność wierzby krzewiastej pozyskiwanej w cyklach trzyletnich (w przeliczeniu na 1 rok

użytkowania plantacji) była wyższa niż w cyklach jednorocznych czy dwuletnich. Z punktu widzenia organizacji procesu pozyskiwania biomasy wierzby krzewiastej, szczególnie z dużych plantacji energetycznych, 3-letni cykl zbioru roślin należy uznać za najlepszy. Zbierając rośliny w trzyletnich rotacjach pozyskuje się biomasę z powierzchni około 3-krotnie mniejszej niż w przypadku jednorocznego cyklu zbioru. Na podstawie dostępnych wyników badań można zakładać, że w przeciętnych warunkach średni plon wierzby energetycznej uzyskany w cyklu 3-letnim wyniesie ok. 90-120 Mg/ha świeżego drewna, czyli 30-40 Mg/ha średniorocznie. Oczywiście plon może być większy lub mniejszy w zależności od rodzaju gleby, warunków pogodowych i jakości obsługi prowadzonych upraw, co utrudnia szacunek kosztów.

Istotnym czynnikiem jest również transport, którego koszty ograniczają obszar ekonomicznie uzasadnionej lokalizacji źródeł biomasy. Ceny transportu obecnie kształtują się na poziomie ok. 0,08 zł/m³ za 1 km. Mając na uwadze niski ciężar objętościowa zrębków drzewnych, trzeba się liczyć ze stosunkowo dużym kosztem dowozu zrębków, kształtującym się na poziomie 6-12 zł/Mg dla dowozu z odległości 10-20 km.

Opierając się na powyższych szacunkach, można z pewnym przybliżeniem ocenić koszt energii zawartej w biomacie z plantacji wierzby energetycznej na 5-8 zł/GJ, licząc wraz z dostawą na plac składowy ciepłowni, przy założeniu średniorocznej wydajności plantacji ok. 300 GJ/ha (bez uwzględnienia zysku właściciela plantacji). Wydaje się, że taki poziom kosztów może być zachęcający do podejmowania praktycznych działań wdrożeniowych, zarówno w energetyce, jak i w rolnictwie.

Uwarunkowania techniczne realizacji technologii współspalania

Wdrożenie nowej technologii zawsze wymaga rozwiązania szeregu problemów technicznych, wynikających ze specyfiki przedsiębiorstwa wdrażającego. Także w przypadku technologii współspalania biomasy drzewnej z węglem należy pamiętać o uwarunkowaniach technicznych, związanych z wprowadzaniem nowego paliwa do praktyki przemysłowej. Zrębki drzewne, jako paliwo, wymagają określenia i utrzymania niezbędnych rygorów jakościowych. Funkcjonujące aktualnie normy (PN-92/D-95008, PN-92/D-95017, PN-91/D-95019, PN-90/D-95019) rozróżniają zrębki drzew-

*Tabela nr 2
Charakterystyka zrębków zastosowanych w próbach przedstawionych w tabeli nr 1*

PARAMETR	jedn.	zrębki w miesz. ^{s1}	zrębki w miesz. ^{s2}	zrębki w miesz. ^{s3}
Wilgoć całkowita	W _t ^r %	12,0	50,2	42,2
Części lotne	V ^a %	69,6	73,4	73,4
Popiół	A ^a %	2,2	1,2	1,5
Siarka całkowita	S _t ^a %	0,08	0,27	0,11
Wartość opalowa	Q _t ^r kJ/kg	15.786	7.970	9.432

Kolejnym istotnym czynnikiem jest wielkość uzyskanych plonów. Wieloletnie badania nad produktywnością klonów szybkorosnących wierzby krzewiastej przeprowadzone w Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego wykazały, że produktywność wierzby krzewiastej pozyskiwanej w cyklach trzyletnich (w przeliczeniu na 1 rok użytkowania plantacji) była wyższa niż w cyklach jednorocznych czy dwuletnich.

ne przemysłowe i opałowe. W odróżnieniu od zrębków przemysłowych. dotychczas nie funkcjonuje pojęcie jakości zrębków opałowych. Sytuacja ta wymaga opracowania określonych metod oznaczania własności zrębków przeznaczonych do zasilania kotłów, określenia zakresów dopuszczalnych wahań poszczególnych parametrów jakościowych oraz opracowania odpowiednich norm zakładowych, branżowych i, w sytuacji upowszechnienia się technologii wykorzystania biomasy do produkcji energii, także norm krajowych.

leżeli ciepłownicy opowiedzą się za spalaniem zrębków drzewnych, wówczas albo będą one musiały być wykonywane z przesuszanej masy prętów albo mokre zrębkowane i od razu transportowane do ciepłowni. Nic można przez dłuższy czas przechowywać zrębków mokrych bez ich ciągłego wentylowania. W zależności od terminu zbioru, wilgotność tej biomasy waha się od 58% do 43%. Magazynowanie takich zrębków na wolnym powietrzu, w stosach o dużej objętości, w grubej warstwie, jest bardzo niekorzystne, gdyż narażone są one wtedy na długotrwałe wpływy atmosferyczne i złożone procesy zachodzące wewnątrz stosu (korozja mikrobiologiczna). W pryzmach zrębków obserwuje się brunatnienie i pleśń, pojawiają się różne gatunki grzybów i bakterii, rośnie temperatura wewnątrz pryzm. Zagadnienia te zostały praktycznie rozpoznane w procesach pozyskiwania surowca dla przemysłu drzewnego, gdzie zaleca się pozostawianie drobnicy w lesie (sezonowanie) przez okres miesięcy letnich, zanim drewno zostanie zrębkowane.

Długość okresu od momentu ścięcia drzewa do jego wykorzystania w kotle może wynosić kilka miesięcy, gdyż zbiory biomasy przeprowadza się w okresie od zakończeniu wegetacji przez rośliny (ok. 15 listopada) do rozpoczęcia nowego sezonu wegetacji (ok. 15-go marca). Podstawowe znaczenie mają więc zagadnienia związane z magazynowaniem

(sezonowaniem) dużych ilości biomasy. Wydaje się, że plony wierzby powinny być magazynowane w postaci nie rozdrobnionej, najlepiej w rejonie plantacji. Rozdrabnianie i transport zrębków powinien odbywać się sukcesywnie, w miarę zużycia, przy utrzymywaniu na placu składowym w ciepłowni tylko operatywnych ilości biomasy. Taki sposób rozwiązania wymuszają, przede wszystkim, istniejące w większości przedsiębiorstwach ograniczone możliwości magazynowe paliwa. Nie bez znaczenia jest również zapewnienie należytej jakości zrębków w aspekcie warunków pracy załogi (źle magazynowane, zagrzybione czy spleśniałe zrębki mogą być źródłem kłopotliwych uczuleń skórnych czy alergii dróg oddechowych u pracowników ze skłonnościami alergicznymi).

Rozpracowania wymagają także systemy odbioru, magazynowania, dozowania i mieszania zrębków drzewnych z węglem. Układy technologiczne w zdecydowanej większości zakładów energetycznych nie są przystosowane do komponowania mieszanek paliwowych. Istniejące rozwiązania, z oczywistych powodów, nie zakładały miejsca na wydzielenie odrębnych, odpowiednio odseparowanych pól składowych, nie zakładały odrębnych układów transportowych, które mogłyby odbierać biomasę ze składowiska równocześnie z odbiorem węgla. Jak również układów dozowania i mieszania (nawet wstępnego) zrębków i węgla. W istniejących układach transportu węgla ze składowiska do zbiorników nawęglają-cycli. Zdecydowanie jednokomponentowych, utrudnione lub niemożliwe jest włączenie dodatkowej niłki transportowej drugiego składnika, bez poważnych zmian konstrukcyjnych o charakterze inwestycyjnym. Rozwiązaniem może być utworzenie oddziału mieszania węgla i zrębków, który byłby zlokalizowany w rejonie składowiska węgla lub, w sytuacji braku odpowiedniej ilości miejsca, w innym rejonie, korzystnie w rejonie plantacji roślin energetycznych. Na plac składowy w ciepłowni trafiałaby w tym przypadku gotowa mieszanka, która w istniejących układach transportowych byłaby tylko dodatkowo uśredniana.

Problemy związane z logistyką dostaw biomasy zdecydowanie wzrastają w przypadku dużych ciepłowni. Przykładowo, dla uzyskania mocy cieplnej 100 MW trzeba spalać w ciągu doby ok. 3.500 m³ zrębków drzewnych. Zabezpieczenie ciągłości ruchu takiego agregatu wymaga więc możliwości przyjęcia w ciągu doby co najmniej 5.000 m³ zrębków. Realizacja tych potrzeb z wykorzystaniem konwencjonalnych środków transportu (1 70 ciężarówek o jednostkowej pojemności 30 m³ w ciągu doby) jest praktycznie nierealna. Niezbędne są specjalne samochody

przystosowane do przewozu wielkich objętości, co pociąga za sobą również konieczność posiadania odpowiedniego sprzętu do ich załadunku. Nie można także zapominać o konieczności przygotowania odpowiednio dużych powierzchni manewrowych, z uwzględnieniem gabarytów samochodów i dużej intensywności ich ruchu.

Wnioski

Pozytywne wyniki wykonanych w kraju badań współspalania biomasy drzewnej z węglem w kotłach węglowych oraz informacje z zagranicznej literatury technicznej mogą stanowić zachętę do podejmowania prac wdrożeniowych tej technologii. Obecnie można zauważyć wyraźne zainteresowanie branży energetycznej zagadnieniami spalania biomasy. O tempie rozwoju tych działań decydować będą oczywiście koszty produkcji, czyli przyjęte rozwiązania technologiczne oraz warunki i koszty pozyskania paliwa.

Pierwszoplanowe znaczenie należy bezspornie przypisać zagadnieniom logistyki dostaw biomasy, które będą miały duży wpływ na osiągnięcie powodzenia biznesowego. Rozpracowanie problemów logistycznych musi wyprzedzić podjęcie stosownych decyzji inwestycyjnych.

Barierą rozwoju procesów wprowadzania biomasy drzewnej do energetyki zawodowej mogą okazać się stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne, zarówno w części rolniczej, jak i energetycznej, związane z nakładami na założenie plantacji roślin energetycznych oraz przygotowanie infrastruktury technicznej w przedsiębiorstwach energetycznych.

*dr inż. Jacek Zawistowski
Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla
ul. Zamkowa 1, 41-803 Zabrze*