



Wykorzystanie biomasy na cele grzewcze a ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza z sektora komunalno-bytowego

Tomasz Mirowski
*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi
i Energią PAN, Kraków*

1. Wprowadzenie

Ostatnie zmiany w krajowej legislacji, które można było zaobserwować w latach 2014-2015 w zakresie odnawialnych źródeł energii, ochrony środowiska i gospodarki odpadami, stwarzają nowe możliwości energetycznego zagospodarowania biomasy pochodzenia roślinnego. Obowiązki państwa w zakresie utrzymania wzrostu udziału wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych w bilansie zużycia energii pierwotnej nie pozwalają na pozostawienie działaniom jedynie „niewidzialnej ręki”.

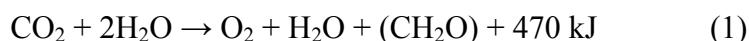
Pierwsze próby komercyjnego zastosowania biomasy jako paliwa w energetyce datuje się na 1861 rok, kiedy we Francji uruchomiono pierwszą zgazowarkę na drewno. Intensyfikacja badań nad zastosowaniem biomasy, to lata 90-te ubiegłego wieku. Współpalanie biomasy z węglem w energetyce zawodowej w Polsce, a także innych krajach posiadających elektrownie węglowe, okazało się nietrafionym kierunkiem rozwoju odnawialnych źródeł energii ze względu na niską efektywność procesu wytwarzania energii, problemy techniczne z magazynowaniem, przygotowaniem mieszanki węgla-biomasa w młynach i jej transportem do kotła, w szczególności z transportu mieszanki pyłowo-powietrznej do kotła pyłowego. Rezygnacja z paliw biomasowych o niskiej wartości opałowej i gęstości nasypowej na rzecz paliw kompaktowanych (brykiet, pelet) oraz wysokokalorycznych rodzajów biomasy

z produkcji żywności (np. łuski słonecznika, pestki palmy olejowca gwi-nejskiego – PKS) poprawiła bilans energetyczny, niszcząc lokalny kra-jowy rynek biomasy.

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę biomasy, głównie pod względem jej składu oraz możliwości wykorzystania w kotłach małej mocy. Opisano przyjętą metodykę badawczą w zakresie redukcji niskiej emisji z sektora komunalno-bytowego oraz przedstawi-no wstępne wyniki badań.

2. Biomasa

Źródłem energii chemicznej biomasy są organiczne związki che-miczne. Związki te powstają dzięki procesom syntezy komórkowej z dwutlenku węgla i wody na skutek procesu fotosyntezy.



Biomasa zawierająca w swoim składzie chemicznym w różnych proporcjach ligninę, celulozę i hemicelulozę obejmuje szerokie spektrum roślin, które oprócz właściwości odżywczych (pokarmowych), są nośni-kami energii. Energia zakumulowana w roślinie w wyniku asymilacji 1 mola CO_2 gromadzi w postaci węglowodanów 470 kJ energii chemicznej (Witaszki in. 2015, Lewandowski & Rymś 2013). Zakłada się, że bilans emisji dwutlenku węgla podczas spalania biomasy jest zerowy, gdyż wytworzona jego ilość jest równoważna ilości CO_2 pobranej przez roślinę podczas jej wzrostu.

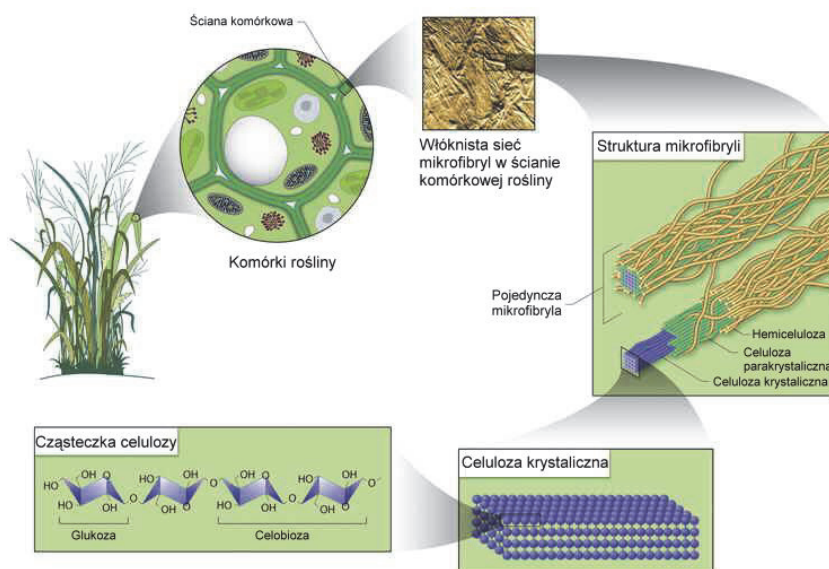
W skład biomasy wchodzi (Olsson 2006):

- a) węglowodany (cukry proste, dwucukry),
- b) skrobia składająca się z amylopektyny (80%) i amylozy (20%),
- c) celuloza,
- d) lignina (biopolimer, w którego skład wchodzi nienasycone alkohole i fenole).

Oprócz wymienionych głównych składników, biomasę roślinną tworzą również pektyny, tłuszcze i woski.

Składniki biomasy można podzielić na pokarmowe oraz mające zastosowanie energetyczne: celuloza, hemiceluloza i lignina. Proporcje składników odżywczych do energetycznych są zróżnicowane i zależą od rodzaju rośliny. Rośliny energetyczne mają odwrócone proporcje: 40-

60% celuloza, 20-40% hemiceluloza i 10-25% lignina. W celulozie zakumulowana jest znaczna część węgla w stosunku do całej biomasy roślinnej. Jest to również polisacharyd zbudowany z reszt glukozy, połączonych w długie łańcuchy wiązaniami 1,4-glikozydowymi o konfiguracji beta. Cząsteczki polimeru dzięki tym wiązaniom mają formę długich, stabilnych łańcuchów. Na rysunku 1 przedstawiono budowę ścianek komórkowych roślin z wyszczególnieniem cząsteczki celulozy.



Rys. 1. Celuloza w roślinach – budowa i lokalizacja

Fig. 1. The structure and location of the molecule of cellulose

Źródło: opracowanie na podstawie (Genomics 2015)

Mała aktywność chemiczna celulozy jest wynikiem występowania wodorowych połączeń między łańcuchami, które jednocześnie usztywniają cząsteczkę i utrudniają możliwość hydrolizy. Hemiceluloza jest bliżej nieokreśloną mieszaniną polisacharydów. Zawiera krótkie, rozgałęzione łańcuchy cukrów, które mają 5 atomów węgla w cząsteczce. Są to głównie D-ksyloza i L-arabinoza. Występują także cukry 6-cio węglowe (D-glukoza, D-galaktoza, D-mannoza), a także kwasy uronowe (Da Rosa 2005). Dzięki rozgałęzionej strukturze krótkich łańcuchów hemiceluloza jest amorficzna i łatwo ulega hydrolizie na proste cukry składowe. Ostatni składnik biomasy – lignina – jest substancją niewę-

głowodanową i tworzy strukturę fizyczną w roślinach. Jest ona biopolimerem o dużym ciężarze cząsteczkowym. Budowa ligniny jest zależna od wytwarzającej ją rośliny, w której skład wchodzi nienasycone alkohole i fenole (Piwowarczyk 2003). Wymienione właściwości biomasy determinują możliwości jej przeznaczenia na cele energetyczne. W postaci nierozdrobnionej, włóknisty charakter budowy utrudnia podawanie paliwa do komory oraz jego całkowite spalanie. W tabeli 1 przedstawiono zawartość głównych polimerów w biomase lignocelulozowej. Udział ligniny w biomase pochodzącej z rolnictwa (słoma, trawy) jest niższa w porównaniu do drzew iglastych. Lignina w procesie spalania jest przyczyną powstawania metoksyfenoli – głównego składnika dymu w fazie początkowej spalania. Badania Olssona (Olsson 2006) dowodzą, że spalanie peletów ze słomy w porównaniu z innymi rodzajami biomasy wykazują niskie wartości emisji wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych takich, jak: naftalen, fenantren, fluoranten i piren.

Tabela 1. Zawartość głównych polimerów w biomase lignocelulozowej (Grala i in. 2014)

Table 1. The content of the main polymer in the lignocellulosic biomass

Biomasa lignocelulozowa	Celuloza	Hemiceluloza	Lignina
	%		
Kolby kukurydzy	42	35	15
Bawełna	80-95	5-20	0
Trawy	25-40	35-50	10-30
Drzewa liściaste	40-55	24-40	18-25
Liście	15-20	80-85	0
Gazety	40-55	25-40	18-30
Łupiny orzechów	25-30	25-30	30-40
Papier	85-99	0	0-15
Drzewa iglaste	45-50	25-35	25-35
Słoma z pszenicy	35	50	15
Słoma z kukurydzy	37,5	30	10,3
Słoma ryżowa	44,3	33,5	20,1
Łuski ryżu	34,4	29,3	19,2
Wytłoki trzciny cukrowej	45	20	30

Techniki kondycjonowania biomasy lignocelulozowej opisane w pracach (Grala i in. 2014, Menon & Rao 2012) stosuje się najczęściej przed jej przygotowaniem do procesu fermentacji. Na uwagę zasługują ekstruzja i rozdrabnianie. Rozdrabnianie biomasy prowadzi do uzyskania cząstek wielkości od 0,2 do 5 mm. Proces ekstruzji polega na mieszaniu, ogrzewaniu i ścinaniu materiału wsadowego. W krótkim czasie zostaje poddany działaniu sił mechanicznych (siły ścinającej), wysokiej temperatury i zmieniającego się ciśnienia. Na skutek działania tych czynników następuje rozerwanie ściany komórkowej roślin lignocelulozowych, przez co materiał zmienia się w plastyczną masę. Podczas procesu ekstruzji dochodzi również do depolimeryzacji celulozy, hemicelulozy, ligniny oraz białka, jak również do degradacji termicznej aminokwasów i cukrów oraz do zmniejszenia rozmiaru cząstek (Witaszek i in. 2015). Metody te występują również podczas procesu kompaktowania w urządzeniu do produkcji peletu. Należy zatem przypuszczać, że materiał wyjściowy w postaci peletu jest nie tylko zagęszczony, ale posiada inne właściwości fizykochemiczne niż substraty do jego produkcji.

Lokalne wykorzystanie popiołu otrzymanego po spaleniu peletów z biomasy może posłużyć do nawożenia gleby, gdyż jego przemysłowe zastosowanie nie ma uzasadnienia ze względu na ilość oraz podatność na wymywanie zanieczyszczeń z popiołów utrudnia ich składowanie (Uliasz-Bocheńczyk i in. 2015).

3. Materiał i metody badawcze

Badania w projekcie pod nazwą *From Field to Energy* rozpoczęto w 2012 roku. Projekt ten zapoczątkowany przez norweską firmę Serigstad jest realizowany z Instytutem Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Pierwszy etap badań koncentrował się wokół możliwości mechanicznego kompaktowania różnych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego jak: słoma z kukurydzy, pszenicy, lucerny, rzepaku, ponadto siano, liście, drobne gałęzie, zieleń z pielęgnacji itp. Wykonano serię prób mieszanek biomasy o zróżnicowanej wilgotności na przemysłowej linii do peletyzacji o wydajności 1000 kg/godz. Osiągnięte rezultaty nie spełniły oczekiwań; problemy z rozdrabnianiem wstępnym materiału wilgotnego powyżej 15%, częste wyłączenia przez blokowanie się granulatorów. Głęboka modyfikacja elementów linii produkcyjnej trwająca

ponad 2 lata doprowadziła do możliwości produkcji peletu o nazwie NES z biomasy pochodzenia roślinnego o wilgotności do 40 %.

W drugim etapie prac zbadano paliwo bazowe (mieszaną słomy z pszenicy i lucerny) oznaczając zawartość wilgoci całkowitej, wilgoci analitycznej, zawartość popiołu, ciepło spalania i wartości opałowej oraz analizę elementarną. Próbki przedstawione na rysunku 2 przygotowano do analizy według normy PN-EN 15443:2011, a poszczególne oznaczenia zgodnie z normą dla paliw stałych wtórnych – PN-EN 15400:2011. Wyniki badań zestawiono w tabeli 2.



Rys. 2. Próbkki przeznaczone do badań

Fig. 2. Biomass samples for test

Otrzymane wyniki badań peletu NES potwierdziły założony cel osiągnięcia paliwa biomasowego, które nie wymaga w procesie jego produkcji podsuszania wsadu jeśli nie przekracza on 40% wilgoci. Na uwagę zasługuje niska zawartość siarki i optymalna wartość opałowa peletu w stanie roboczym.

Tabela 2. Wyniki laboratoryjne badań peletu NES z mieszanki biomasy roślinnej
Table 2. The results of laboratory tests NES pellet from a mixture of agro biomass

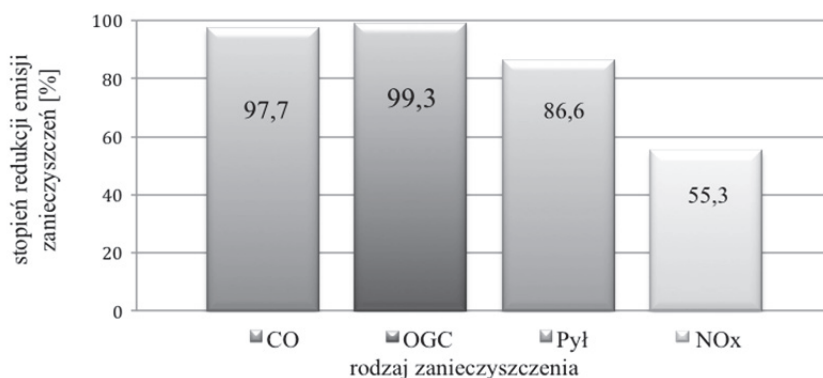
Rodzaj badania		Wyniki badań			Metoda badania
		stan analityczny a	stan roboczy r	stan suchy d	
Zawartość wilgoci całkowitej	%	–	12,7	–	CEN-TS 15414-1:2006 metoda akredytowana
Zawartość wilgoci w próbce analitycznej	%	7,41	–	–	PN-G-04560:1998 metoda akredytowana
Zawartość popiołu	%	6,77	–	7,31	
Zawartość siarki	%	0,14	–	0,15	PN-G-04584:2001 metoda akredytowana
Zawartość węgla całkowitego	%	43,2	40,8	46,7	PN-EN 15407:2011 metoda akredytowana
Zawartość wodoru	%	5,43	–	5,86	
Zawartość azotu	%	1,00	–	1,08	
Ciepło spalania	kJ/kg	16 673	–	18 007	PN-EN 15400:2011 metoda akredytowana
Wartość opałowa (z obliczeń)	kJ/kg	15 312	14 298	16 733	

Źródło: badania własne w laboratorium akredytowanym

Trzecim etapem badań był dobór odpowiedniej techniki spalania w kotle małej mocy (do 50 kW) do wytwarzanego paliwa z mieszanek biomasy o wartości opałowej w zakresie 14-16 MJ/kg i zawartości wilgoci 10-15%. Firmy Serigstad i Elektromet w ramach współpracy opracowały konstrukcję palnika wielopaliwowego, który spala zarówno wysokokaloryczny ekogroszek, pelet drzewny, jak i pelet NES zachowując normę PN-EN 303-5:2012 klasa 5 oraz wymagania Parlamentu Europy i Rady 2009/125/WE i Rozporządzenia Komisji (UE) 2015/1189 – w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla kotłów na paliwo stałe. W efekcie tych prac otrzymano tanie paliwo (cena: 380 zł/Mg, 26,5 zł/GJ), które można wytwarzać z lokalnych zasobów biomasy i efektywnie spalać w kotłach o sprawności cieplnej ponad 90% i sezonowej efektywności energetycznej 88,7%, zachowując rygorystyczne normy emisji, w szczególności pyłu całkowitego na poziomie 21 mg/m³

przy 10% O₂ oraz gazowych zanieczyszczeń organicznych (OGC) równym 10 mg/m³ przy 10% O₂. Badania spalania paliw stałych przy udziale 10% tlenu są wymogiem postawionym w normie PN-EN 303-5:2012. Szerokie badania w tym zakresie przeprowadził Zakład Badań Urządzeń Energetycznych Instytutu Energetyki w Łodzi (IEN, 2013) w ramach prac statutowych. Rekomendacje IEN w zakresie konstrukcji kotłów stałopaliwowych z automatycznym podawaniem paliwa potwierdzają trafność przeprowadzonych badań rozwojowych nad palnikiem do peletu NES.

Pierwsze efekty projektu, przedstawione na rysunku 2, odnoszą się do redukcji emisji szkodliwych gazów i pyłu całkowitego. Osiągnięto je poprzez likwidację 13-letniego kotła węglowego o mocy 28 kW w bibliotece miejskiej w Jordanowie, który nie spełniał wymogów normy PN-EN 303-5:2012, a następnie montaż kotła 25 kW klasy 5 z automatycznym podajnikiem na pelet NES (alternatywnie na węgiel ekogroszek lub pelet drzewny).



Rys. 2. Efekt redukcji zanieczyszczeń w wyniku wymiany starego kotła węglowego na kocioł biomasowy w programie DRATEWKATM

Fig. 2. The effect of air pollutions reduction through exchanging an old coal boiler to automatic biomass boiler in DRATEWKATM Programme

4. Podsumowanie

Obecnie jest realizowany projekt *From Field to Energy* w dwóch gminach w Małopolsce. Celem projektu jest stworzenie realnych możliwości wykorzystania biomasy z lokalnych zasobów gminnych na cele grzewcze, aby ograniczyć udział niskiej emisji pochodzącej z sektora komunalno-bytowego oraz pośrednio z transportu.

Badania będą obejmowały możliwości wykorzystania potencjału lokalnej biomasy do produkcji peletu NES, peletu z mieszanek biomasy roślinnej oraz wpływu wymiany starych kotłów stałopaliwowych na kotły automatyczne, przystosowane do spalania peletu o obniżonej wartości opałowej na redukcję niskiej emisji. W ramach tego projektu powołano program DRATEWKATM. Uczestnictwo w tym programie przewidziano dla osób fizycznych (gospodarstw domowych) oraz instytucji sektora publicznego, w którym podjęto decyzję o zmianie starego źródła grzewczego na nowy. W ramach uczestnictwa w programie zostały zapewnione dostawy paliwa oraz serwis i nauka obsługi urządzeń automatyki w kotle. Uczestnicy zobowiązani są do udostępniania danych na potrzeby badawcze oraz mają możliwość testowania nowych rodzajów peletu powstałych z mieszanek biomasy roślinnej. Przykład wymiany 100 kotłów węglowych klasy 3 lub niesklasyfikowanych na kotły biomasowe Elektromet-Serigstad 25 kW daje następujące efekty:

- odbiorcy zapłacą za 680 ton peletu (koszty produkcji w zakresie 16-23 zł/GJ, dla wartości opałowej 15 GJ/Mg) kwotę 170-238 tys. zł, która zostaje w gminie,
- poprawa efektywności energetycznej o minimum 20%,
- redukcja emisji pyłów o 81 % (konwersja z klasy 3 na 5).

Literatura

- Da Rosa, A. (2005). *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Amsterdam, Boston: Elsevier Stanford University.
- Genomics (2015) – strona internetowa – www.genomics.energy.gov [ostatni dostęp 12.09.2015]
- Grala, A. i inni (2014). *Technologie kondycjonowania biomasy lignocelulozowej przed procesem fermentacji metanowej*. W: T.M. Traczewska i B. Kaźmierczak (red.), *Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska*. Tom 4. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- IEN 2013. Opracowanie wytycznych dotyczących przystosowania wybranych typów konstrukcyjnych produkowanych w kraju kotłów grzewczych opalanych węglem kamiennym do spełnienia zastrzonych wymagań ustalonych w znowelizowanej normie PN-EN 303-5 w zakresie granicznych wartości emisji zanieczyszczeń. Zakład Urządzeń Energetycznych, Laboratorium Badań Kotłów i Urządzeń Grzewczych, Instytut Energetyki. Praca statutowa. [www.ien.com.pl]

- Kowalski, Z., Lelek, Ł. (2011). Modelowanie rynku biomasy w Małopolsce z uwzględnieniem aspektów prawnych, rynkowych i ekologicznych. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 1429-1440.
- Lewandowski, W.M., Ryms, M. (2013). *Biopaliwa*. Wydawnictwo WNT.
- Menon, V., Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(4), 522-550.
- Mirowski, T., Orzechowska, M. (2015). Wykorzystanie paliw biomasowych w ogrzewnictwie indywidualnym na obszarach zagrożonych niską emisją. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 18(4), 75-88.
- Olsson, M. (2006). *Residential biomass combustion-emissions of organic compounds to air from wood pellets and other new alternatives*. Chalmers University of Technology.
- Piwowarczyk, J. (2003). Energetyczne użytkowanie biomasy roślinnej. *GLOBEnergy*, 2-3, 32-38.
- Uliasz-Bocheńczyk, A., Pawluk, A., Sierka, J. (2015). Wymywalność zanieczyszczeń z popiołów lotnych ze spalania biomasy. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 31(3), 145-156.
- Witaszek K., Pilarska A.A., Pilarski K. (2015). Wybrane metody wstępnej obróbki surowców roślinnych stosowanych do produkcji biogazu. *Ekonomia i Środowisko*, 2(53), 130-144.

Utilization of Biomass for Energy Purpose Versus Reduction of Emission of Air Pollutants from Municipal and Households Sector

Abstract

It is noticed, that in Poland occurs dynamic development in the energy use of energy from renewable sources. This effect is related to the adoption of pro-environmental legislation in the members of the European Union. Unfortunately, there is no visible impact on in air quality improvement in areas threatened by „low emissions”. „Low emission“ from the municipal sector, is from years a difficult problem of the Malopolska and Silesia province and plenty of cities, where concentrations of particulate matter (PM 10, PM 2.5) and other monitored air pollution exceeded permitted levels. The article presents a characteristic of biomass, mainly of its composition and the possibility to use in small boilers. Described the methodology of carried research in the field of „low emission“ reductions from the municipal sector and presented the preliminary results. Solid-fuel types of boilers used in households and public buildings for

the most of them does not meet common standards for emissions to 50 kW of thermal power. The combustion of pellet in new modern biomass-boilers with automatic feed system, can effectively reduce the level of dusts and other air pollutants, as has been shown in the article as an example of the municipal library in Jordanow town. An important element that should encourage potential users to change the old technology to the new, is the cost of the biomass fuel, which has impact to an operating costs. The article presents the possibility of pellets production from biomass such as a various species of straw, grass, tree leaves, branches, etc.

Analyzed chemical and physical stability of "NES" pellet prepared from blend of wheat straw and lucerne with moisture content of 40%. The results confirmed the expected results in a form of the good quality parameters of fuel which can be used in 5 class boilers. The emission of air pollutants measurements were also carried out an old boiler before its replacement at the point of potential use. The results of the reduction of pollution emitted into the air are presented in the form of a graph. The solution of biomass utilisation for the production of pellets fuel from local biomass resources which combusting in 5 class boiler with a modified design of the torch inside gives us significant economic and enviromental effects.

An example of this is the implementation of the program of research "DRATEWKA", which is carried out in the Jordanów town.

Streszczenie

W Polsce zauważalny jest dynamiczny rozwój zastosowania w bilansie energetycznym energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Efekt ten związany jest z przyjęciem proekologicznych aktów prawnych w krajach członkowskich Unii Europejskiej. Niestety nie przekłada się to na widoczną poprawę jakości powietrza na obszarach zagrożonych niską emisją. Niska emisja z sektora komunalno-bytowego to od kilku lat trudny do rozwiązania problem w województwie małopolskim, śląskim i wielu miastach, gdzie stężenia pyłów PM 10 i PM 2.5 oraz innych monitorowanych zanieczyszczeń powietrza przekraczają dopuszczalne normy. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę biomasy, głównie pod względem jej składu oraz możliwości wykorzystania w kotłach małej mocy. Opisano przyjętą metodykę badawczą w zakresie redukcji niskiej emisji z sektora komunalno-bytowego oraz przedstawiono wstępne wyniki badań.

Rodzaje stosowanych kotłów stałopaliwowych w gospodarstwach domowych i budynkach użyteczności publicznej w większości nie spełnia norm obecnie obowiązujących w zakresie emisji zanieczyszczeń do mocy 50 kW. Nowoczesne kotły z automatycznym podawaniem paliwa w postaci peletów

z biomasy pozwalają skutecznie ograniczyć poziom niskiej emisji oraz innych szkodliwych gazów, co wykazano w artykule na przykładzie biblioteki miejskiej w Jordanowie. Ważnym elementem, który zachęci do zmiany starej technologii na nową jest koszt paliwa biomasowego, który przekłada się na koszty eksploatacji. W artykule przedstawiono możliwości wytwarzania peletów z biomasy roślinnej takiej, jak różne gatunki słomy, siano, liście, drobne gałęzie, zieleń z pielęgnacji, itp. W procesie peletyzacji dochodzi do waloryzacji materiału wejściowego. Zbadano właściwości fizyko-chemiczne peletu o nazwie NES z bazowej mieszanki słomy z pszenicy i lucerny o zawartości wilgoci do 40%. Wyniki potwierdziły spodziewane efekty w postaci dobrej jakości paliwa, które można stosować w kotłach klasy 5. Przeprowadzono także pomiary emisji starego kotła przed jego wymianą w miejscu użytkowania. Wyniki redukcji zanieczyszczeń emitowanych do powietrza przedstawiono w artykule w formie wykresu. Zastosowanie kompleksowego rozwiązania w zakresie produkcji peletu z lokalnych zasobów biomasy oraz spalanie go w kotłach klasy 5 ze zmodyfikowaną konstrukcją palnika daje wymierne efekty ekonomiczne i środowiskowe. Przykładem tego jest realizacja programu badawczo-wdrożeniowego DRATEWKATM, który jest realizowany w mieście Jordanów w powiecie suskim.

Słowa kluczowe:

biomasa, biomasa lignocelulozowa, pelet, kotły biomasowe, „niska emisja”

Keywords:

biomass, lignocellulosic biomass, pellets, biomass boilers, “low emission”