

Potencjalne zmiany emisji zanieczyszczeń powietrza wskutek zastąpienia paliw kopalnych biomasą wierzby

**Bogdan Kościak, Katarzyna Szmidt, Alina Kowalczyk-Juśko,
Zbigniew Mazur, Monika Kwapisz**

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska

Streszczenie

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą emisji SO_2 , NO_x , CO , CO_2 oraz pyłu w przeliczeniu na jednostkę energii wytworzonej z biomasy wierzby, węgla kamiennego i oleju opałowego lekkiego. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że spalanie węgla kamiennego powoduje ponad osiemdziesięciokrotne, a oleju opałowego czterokrotne, zwiększenie emisji SO_2 w odniesieniu do biomasy. Ilość NO_x , przeliczona na NO_2 , powstającego podczas spalania węgla i oleju opałowego jest odpowiednio wyższa o 21% i niższa o 26%. Wykorzystanie węgla powoduje, że emisja CO jest mniejsza o 5% aniżeli w przypadku spalania biomasy, a oleju opałowego — mniejsza o 99%. Produkcja energii z badanych paliw kopalnych wiąże się z emisją CO_2 wyższą o ok. 15–17% niż z paliwa odnawialnego. Emisja pyłu zawieszonego okazała się prawie dwukrotnie wyższa w przypadku węgla kamiennego w porównaniu do zrębek wierzby, zaś najmniejszą ilość tych zanieczyszczeń — dwudziestotrzykrotnie mniej — powodowało wykorzystanie oleju opałowego.

Słowa kluczowe: wierzba, biomasa, emisja ze spalania

Wprowadzenie

Głównym czynnikiem warunkującym rozwój gospodarczy i społeczny, jest zapewnienie ciągłego dostępu do źródeł energii. Od lat podstawowym surowcem do jej produkcji są paliwa kopalne, których zasoby są ograniczone. Przewiduje się, że zapasy tych surowców wystarczą jedynie na około 100 lat (Wielgosiński 2009). Wykorzystanie paliw kopalnych ma negatywny wpływ na środowisko. Degradacja przyrody następuje podczas prac wydobywczych i poszukiwawczych oraz poprzez emisję zanieczyszczeń w procesie ich spalania. Zaspokojenie przyszłych potrzeb energetycznych, przy jednoczesnym spełnieniu zaostrzających się norm ochrony środowiska, możliwe jest dzięki wykorzystaniu energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Jednym z zasobów jest biomasa, powstająca jako produkt uboczny w produkcji rolnej i przetwórstwie produktów rolnych lub pochodząca z celowych plantacji roślin energetycznych (Gradziuk 2014; Sekret 2008). Wykorzystanie energetyczne roślin o szybkim wzroście może przynieść znaczne korzyści dla środowiska, jednak ich potencjał zostanie właściwie spożytkowany tylko wtedy, gdy cały łańcuch związany z uprawą, przetwarzaniem i konwersją na energię, będzie uwzględniał rozwój zrównoważony jako warunek nadrzędny. Spójność działań, zmierzających do zwiększenia produkcji energii ze źródeł odnawialnych i stopniowe ograniczanie zanieczyszczenia środowiska, zapewniają odpowiednie uregulowania prawne i dokumenty strategiczne.

Odnawialne źródła energii stają się istotnym składnikiem bilansów energetycznych państw europejskich i będą odgrywać zasadniczą rolę w działaniach na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych, poprawy bezpieczeństwa energetycznego i rozwoju społeczno-gospodarczego. W wielu krajach Unii Europejskiej przyjęto szereg proekologicznych dokumentów politycznych i rozwiązań prawnych, stymulujących rozwój OZE (Drzybiecka 2004). Korzystny wpływ na wsparcie rozwoju OZE miał przyjęty w 2009 roku tzw. pakiet energetyczno-klimatyczny 3 x 20. Jest to zestaw wiążącego prawodawstwa, które ma na celu zapewnienie Unii Europejskiej realizację ambitnych

celów w zakresie klimatu i energii do 2020 roku. Zakłada on: zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% (w porównaniu z poziomem z roku 1990), wzrost efektywności energetycznej o 20%, zwiększenie udziału energii odnawialnej do 20% oraz zwiększenie udziału biopaliw w paliwach transportowych do 10%.¹ W warunkach polskich decydujące znaczenie w realizacji celu dotyczącego energii odnawialnej, wyznaczonego na poziomie 15% udziału w strukturze energii finalnej brutto w 2020 r., będą miały postępy poczynione w energetyce wiatrowej, produkcji biogazu i biomasy stałej.²

W 2014 roku został opublikowany sporządzony przez Komisję Europejską dokument zawierający ramy polityki klimatycznej i energetycznej do 2030 r.³ Dokument ten określa nowe założenia polityki energetyczno-klimatycznej UE w perspektywie do 2030 r. Do najważniejszych wytycznych należą:

- redukcja emisji gazów cieplarnianych o 40%, w porównaniu do wielkości emisji w roku bazowym 1990,
- zwiększenie udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych przynajmniej do 27% w bilansie energetycznym całej Unii Europejskiej,
- utrzymanie poprawy efektywności energetycznej.

W planie działań na rzecz przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r. Komisja Europejska wskazuje, że UE powinna obniżyć emisje o 80% poniżej poziomu z roku 1990.⁴ Kluczowym narzędziem polityk klimatycznych Unii Europejskiej służącym ograniczeniu emisji CO₂ pozostaje system handlu uprawnieniami do emisji (ETS — Europejski System Handlu Emisjami). Swobodne przyznawanie zezwoleń na emisje gazów cieplarnianych dla przedsiębiorstw objętych systemem ETS jest od roku 2013 stopniowo zastępowane przez system aukcyjnej sprzedaży przydziałów, który zostanie wprowadzony do roku 2020.⁵

Polityka energetyczna w Polsce jest w dużej mierze kreowana przez postanowienia podejmowane na poziomie UE. W związku z powyższym, podstawowymi kierunkami polskiej polityki energetycznej są:

- poprawa efektywności energetycznej,
- wzrost bezpieczeństwa dostaw paliw i energii, w tym wzmocnienie pozycji konkurencyjnej polskich podmiotów energetycznych na rynku regionalnym,
- dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wprowadzenie energetyki jądrowej,
- rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw,
- rozwój konkurencyjnych rynków paliw i energii,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko.⁶

Skutecznym rozwiązaniem technologicznym, służącym realizacji działań proekologicznych w obszarze produkcji energii, jest wykorzystanie biomasy. Nacisk na energetyczne wykorzystanie biomasy obserwowany jest w polityce energetycznej nie tylko Polski, ale i świata. Biomasa rozumiana

1. Zob. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, Dz. Urz. UE 5.6.2009 L140/16, [@:] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1422003270819&uri=CELEX:32009L0028>.

2. Zob. Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych. Minister Gospodarki, Warszawa 2010, przyjęty przez Radę Ministrów 7grudnia 2010r., [@:] http://www.mg.gov.pl/files/upload/12326/KPD_RM.pdf.

3. Zob. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Ramy polityczne na okres 2020–2030 dotyczące klimatu i energii. Bruksela, dnia 22.1.2014 r. Com(2014) 15 final, [@:] <http://www.ipex.eu/IPEXL-WEB/dossier/document/COM20140015.do>.

4. Zob. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania prowadzący do przejścia na konkurencyjną gospodarkę niskoemisyjną do 2050 r. Bruksela, dnia 8.3.2011. KOM(2011) 112 wersja ostateczna, [@:] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0112>.

5. Zob. Działania UE przeciw zmianom klimatu. Unia Europejska na czele działań międzynarodowych do roku 2020 i później. Luksemburg: Urząd Oficjalnych Publikacji Wspólnot Europejskich. (wydanie 2008).

6. Zob. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r., [@:] <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>.

jest jako podlegające degradacji biologicznej części produktów, odpady i pozostałości rolnicze (roślinne i zwierzęce), leśne i przemysłu rolno-pożywczego, oraz podlegające degradacji biologicznej odpady przemysłowe i komunalne.⁷ W prawodawstwie polskim biomasa jest definiowana jako stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji.⁸ Zastępowanie paliw kopalnych biomasą ogranicza zanieczyszczenie atmosfery takimi substancjami, jak: tlenki węgla, azotu i siarki oraz pyły, które w dużej ilości emitowane są podczas spalania paliw konwencjonalnych.

Celem pracy było porównanie wielkości emisji tlenków: siarki, azotu, węgla oraz pyłów powstających podczas spalania węgla kamiennego oraz oleju opałowego lekkiego w odniesieniu do biomasy pochodzącej z wierzby.

1. Materiał i metody badań

Podstawę badań stanowiły wyniki doświadczenia polowego z uprawą wierzby energetycznej *Salix viminalis* L., przeprowadzonego w latach 2008–2010 w Stacji Doświadczalnej Katedry Produkcji Roślinnej i Agrobiznesu Wydziału Nauk Rolniczych w Zamościu. Plon biomasy wierzby, uzyskany z trzyletniego odrostu na siedmioletniej karpie, wyniósł 56,34 Mg/ha świeżej masy o wilgotności 50%, co oznacza, że plon w przeliczeniu na rok wyniósł 9,39 Mg/ha suchej masy. Biomasa została poddana analizie podstawowych parametrów energetycznych w laboratorium chemicznym Energa Kogeneracja w Elblągu, z zastosowaniem metod:

- wilgoć, popiół — wagowa,
- ciepło spalania i obliczanie wartości opałowej — kalorymetryczna.

Dane dotyczące biomasy wierzby w stanie wilgotności roboczej (20%), w jakiej najczęściej wykorzystywane jest drewno opałowe, przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki badań biomasy wierzby

Oznaczenie	Jednostka	Wartość
Plon	Mg/ha · rok	11,81
Wilgotność	%	20,00
Popiół	%	1,93
Ciepło spalania	MJ/kg	14,32
Wartość opałowa	MJ/kg	13,22

Oszacowano wielkość emisji do atmosfery tlenków siarki (SO_x w przeliczeniu na SO_2), tlenków azotu (NO_x w przeliczeniu na NO_2), tlenku węgla (CO), ditlenku węgla (CO_2), pyłu zawieszonego całkowitego (*total suspended particulates* — TSP) w przeliczeniu na 1 GJ energii wytworzonej ze zrębków wierzby, węgla kamiennego i oleju opałowego. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o metodę proponowaną przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, przyjmując wskaźniki emisji dla poszczególnych paliw (Zespół Ochrony Powietrza KOBiZE 2013). Metoda ta jest stosowana w Polsce i ma na celu ułatwienie podmiotom korzystającym ze środowiska sporządzanie sprawozdań w corocznym raporcie dotyczącym wielkości emisji do Krajowej bazy danych o wielkości emisji do powietrza z kotłów o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW.⁹

7. Zob. Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, Dz. Urz. L 283/33 z 27.10.2001 r., [@:] http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2001.283.01.0033.01.ENG.

8. Zob. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 19 grudnia 2005 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii. DzU z 2005 r. nr 261 poz. 2187, z późn. zm.

9. Zob. Ustawa z dnia 17 lipca 2009 r. o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji. DzU z 2009 r. nr 130 poz. 1070, z późn. zm.

Wielkość emisji obliczono na jednostkę energii (1GJ) na podstawie zależności:

$$(1) \quad E = B \cdot w,$$

gdzie:

E — emisja substancji, wyrażona w kilogramach (w kg),

B — zużycie paliwa: w przypadku paliw stałych oraz ciekłych (w Mg),

w — wskaźnik emisji wyrażony w gramach na jednostkę zużytego paliwa (w g/Mg).

Do obliczeń przyjęto następujące parametry paliw oraz wskaźniki emisji (przedstawione w tab. 2):

- zrębki wierzby — wartość opałowa: 13,22 MJ/kg, zawartość popiołu A: 1,93%, wilgotność: 20% (badania własne),
- węgiel kamienny — wartość opałowa: 24,0 MJ/kg, zawartość siarki s: 1,0%, zawartość popiołu A: 10%,¹⁰
- olej opałowy lekki — wartość opałowa: 42,8 MJ/kg, zawartość siarki s: 0,07%.¹¹

Tab. 2. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń (w) dla drewna, węgla kamiennego oraz oleju opałowego lekkiego (jednostka wskaźnika: g/Mg)

Zanieczyszczenie	Drewno	Węgiel	Lekki olej opałowy
	ruszt stały — ciąg naturalny		palnik
	nominalna moc cieplna kotła (w MW)		
	N ≤ 1,0	N ≤ 0,5	N ≤ 0,5
Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	110	16 000 · s	20 359,2 · s
Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	1 000	2 200	2 395,2
Tlenek węgla (CO)	26 000	45 000	682,632
Dwutlenek węgla (CO ₂)	1 200 000	1 850 000	3 233 520
Pył zawieszony całkowity (TSP)	1 500 · A	1 000 · A	407,184

Źródło: Zespół Ochrony Powietrza KOBiZE (2013)

N — nominalna moc cieplna kotła

A — zawartość popiołu wyrażona w procentach (%)

s — zawartość siarki całkowitej wyrażona w procentach (%)

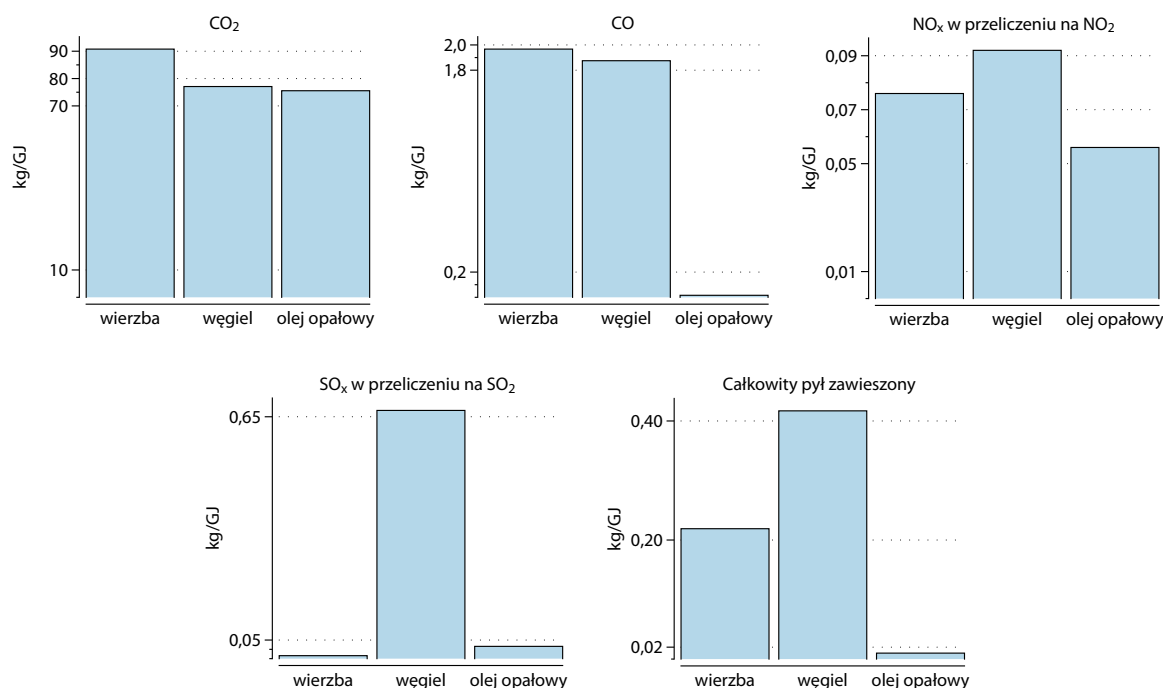
2. Omówienie wyników badań

Ilość energii chemicznej zawartej w badanych paliwach okazała się znacząco różna: na 1 GJ energii przypada 0,076 Mg biomasy wierzby, 0,042 Mg węgla kamiennego lub 0,023 Mg oleju opałowego. Energia chemiczna, zawarta w biomase wierzby (11,81 Mg o wilgotności 20%) pozyskanej rocznie z powierzchni 1 ha, wyniosła 156,15 GJ (43,375 MWh), co równoważy pod względem energetycznym 6,51 Mg węgla kamiennego średniej jakości lub 3,65 Mg oleju opałowego lekkiego. Zapotrzebowanie na energię, potrzebną do ogrzania budynku mieszkalnego, klasyfikowanego jako średnio energochłonny, spełniający aktualne wymagania prawne, rocznie wynosi 100–150 kWh/m² (Pater i Magiera 2011). Uwzględniając sprawność kotła na poziomie 75% (Kowalczyk-Juško i Sławińska 2012) można obliczyć, że pozyskana biomasa mogłaby wystarczyć do ogrzania 217–325 m² domu. Obliczenie to pozwala w pewnym uproszczeniu zobrazować fakt, że 1 ha uprawy wierzby może zaspokoić zapotrzebowanie na ciepło jednorodzinnej domu i uniezależnić jego użytkowników od dostawców paliw stałych. Niezależność energetyczna poszczególnych odbiorców, regionów i krajów jest jednym z najważniejszych powodów rozwoju produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Równie ważna jest konieczność redukcji emisji zanieczyszczeń do atmosfery, którą można osiągnąć poprzez zastąpienie paliw kopalnych m.in. biomasa.

10. Por. http://www.kwsa.pl/sprzedaz_wegla/oferta_handlowa/rynek_pozostaly, (dostęp: 2015.01.07).

11. Olej opałowy. [a:] http://www.olej-opalowy.pl/index.php?symbol=olej_opalowy.htm, (dostęp: 2015.01.07).

Ubocznym skutkiem spalania paliw jest emisja zanieczyszczeń (rys. 1). Do najbardziej toksycznych gazów spalinowych zaliczane są tlenki azotu. Przyczyniają się do powstania kwaśnych deszczów, współtworzą smog oraz są jednym z ważniejszych czynników niszczących powłokę ozonową (Szczepanek 2009). Obliczona dla zrębków wierzby (z doświadczenia) emisja tlenków azotu wyniosła 0,076 kg/GJ. W przypadku spalania równoważnej energetycznie ilości węgla kamiennego poziom emisji tych gazów wzrasta o 21%, zaś spalanie oleju opałowego spowoduje zmniejszenie ilości emitowanych tlenków azotu o 26% w porównaniu z biomasą wierzby (rys. 1). Wyniki przeprowadzonych badań wydają się zaprzeczać uzyskanym przez Kowalczyk-Juśko (2010), która stwierdziła wzrost ilości NO_x przedostających się do atmosfery wskutek zastąpienia węgla kamiennego biomasą jednaj z energetycznych traw wieloletnich. Na zwiększenie emisji związków azotu podczas spalania biomasy w porównaniu z węglem wskazują też dane publikowane przez Ściążko i inych (2007). Rozbieżności te wynikają z różnic w zastosowanej metodyce obliczeń. Wpływ na emisję NO_x ma nie tylko pochodzenie paliwa (kopalne lub odnawialne), ale też gatunek spalanej biomasy. W badaniach Kistler i inych (Kistler i inni 2012) poddano analizie emisyjności 19 paliw biomasowych. Najwyższym poziomem emisji tlenków azotu charakteryzowała się produkcja energii z dębu bezszypułkowego (0,131 kg/GJ) i robinii akacyjowej (0,118 kg/GJ). Najniższy poziom emisji odnotowany został w trakcie spalania drewna sosny i topoli (średnio 0,066 kg/GJ). Stopień wstępnego przetworzenia biomasy może również różnicować emisję tlenków azotu. Jak wynika z cytowanych badań wielkość emisji tego zanieczyszczenia zawierała się w przedziale od 0,063 kg/GJ dla brykietu drzewnego do 0,113 kg/GJ dla peletu drzewnego. Obecność NO_x w troposferze, wraz z CO_2 , sprzyja powstawaniu efektu cieplarnianego, poprzez pochłanianie promieniowania podczerwonego (Szczepanek 2009).



Rys. 1. Emisja zanieczyszczeń ze spalania zrębków wierzby i paliw kopalnych

Produkcja energii z biomasy wierzby wiąże się z emisją CO_2 na poziomie 90,772 kg/GJ. Spalanie równoważnej energetycznie ilości paliw kopalnych powoduje emisję na zbliżonym do siebie poziomie, niższym o ok. 15% (węgiel) i 17% (olej opałowy lekki) w porównaniu z biomasą. Mimo, iż rzeczywista emisja ditlenku węgla podczas spalania biomasy jest dość wysoka, nie jest ona wliczana do bilansu gazów cieplarnianych ze względu na fakt, że rośliny w trakcie wegetacji wiążą ten gaz z atmosfery. Zamyka to obieg CO_2 w środowisku, nie przyczyniając się do wzrostu jego zawartości w atmosferze.

Emisja tlenku węgla podczas spalania wierzby kształtuje się na poziomie około 1,967 kg/GJ. Spalanie równoważnej energetycznie ilości węgla powoduje zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza tym gazem o 5%. Ograniczenie emisji CO do atmosfery można uzyskać wykorzystując olej na cele energetyczne. Kistler i inni (2012) stwierdzili, że energetyczne wykorzystanie brykietu drzewnego wiąże się z emisją CO na poziomie 1,5 kg/GJ, zaś w przypadku drewna różnych gatunków wskaźnik ten był zróżnicowany i wahał się od 1,2 kg/GJ dla sosny do 3,7 kg/GJ w przypadku dębu. Borycka (2009) określiła poziom emisji CO ze spalania różnych odpadów owocowo-warzywnych w granicach 2,9–3,4 kg/GJ.

Zdaniem Boryckiej, indykatorami „ekologiczności” paliwa są dwie wielkości: emisja ditlenku siarki i pyłu lotnego. Ilość tlenków siarki zależy w głównej mierze od zawartości tego pierwiastka w spalanej paliwie i od warunków, w jakich przebiega proces spalania, takich jak: nadmiar powietrza i temperatura (Szczepanek 2009). Emisja tlenków siarki powstałych w wyniku spalania biomasy wierzby wynosiła ok. 0,006 kg/GJ. Zastosowanie równoważnej pod względem energetycznym ilości węgla kamiennego spowoduje ponad 100-krotny wzrost emisji tego zanieczyszczenia do atmosfery, natomiast prawie 6-krotny wzrost ilości emitowanych tlenków siarki nastąpi w przypadku wykorzystania jako paliwa oleju opałowego.

Obliczona ilość pyłu zawieszonego, emitowanego podczas spalania zrębków wierzby, wyniosła 0,219 kg/GJ. Prawie dwukrotnie większą ilość tych zanieczyszczeń spowoduje spalanie ekwiwalentnej ilości węgla. Badania Kistler i innych (2012) wskazują, że spośród różnych gatunków drzew najwyższa emisja pyłu pochodzi ze spalania drewna dębu — 0,22 kg/GJ. Wykorzystanie peletu z drewna na cele energetyczne spowoduje zanieczyszczenie środowiska emisją pyłów wynoszącą 0,025 kg/GJ, zaś zastosowanie brykietu drzewnego — 0,032 kg/GJ. Wpływ na ilość emitowanego pyłu ma również stosowana technologia: spalanie peletów drzewnych oraz zrębków w kotłach z załadunkiem automatycznym generuje emisję pyłów na poziomie 0,008–0,014 kg/GJ. Spalanie tych form biomasy w kotłach z załadunkiem ręcznym charakteryzowała emisja wynosząca 0,09 kg/GJ, co świadczy o wpływie warunków spalania na emisję pyłów (Schmidl i inni 2011). Raport z tego zakresu przedstawia Międzynarodowa Agencja Energii. Wynika z niego, że ilość pyłu zawieszonego, w zależności od parametrów w jakich przebiega proces, może zawierać się w przedziale od 0,02–5,0 kg/GJ (Nusbaumer i inni 2008). Paliwem konwencjonalnym, charakteryzującym się najniższą ilością zanieczyszczeń pyłowych emitowanych do atmosfery okazał się olej opałowy. Emisja pyłów podczas jego spalania była o 96% niższa w porównaniu z biomasą wierzby.

Podsumowanie

Zastąpienie węgla kamiennego zrębkami wierzby przy założonych parametrach energetycznych ogranicza emisje do atmosfery zanieczyszczeń powstających w procesie spalania. Szczególnie dotyczy to tlenków siarki i pyłów, których emisja jest niższa odpowiednio 80 i 2 razy. Energetyczne wykorzystanie wierzby spowoduje również 21% obniżkę emisji tlenków azotu w porównaniu do węgla. Spalanie biomasy generuje natomiast większą emisję tlenku i dwutlenku węgla odpowiednio o 5 i 15%. Należy jednak podkreślić, iż cechą charakterystyczną biomasy jest zerowy bilans emisji CO₂, który jest związany z zamknięciem obiegu C–CO₂–C, czego nie zapewni energetyczne wykorzystanie paliw kopalnych. Paliwem najbardziej przyjaznym środowisku jest olej opałowy lekki. Energetyczne wykorzystanie tego surowca charakteryzuje się mniejszą emisją pyłu o 96%, tlenku węgla — 99%, dwutlenku węgla — 17% oraz tlenków azotu — 26% w porównaniu z biomasą wierzby. Produkcja ciepła przy użyciu oleju opałowego charakteryzuje się natomiast 4-krotnie wyższą emisją tlenków siarki w odniesieniu do biomasy wierzby.

Plantacja wierzby energetycznej o powierzchni 1 ha jest wystarczająca dla zapewnienia surowca opałowego, wystarczającego do zaspokojenia zapotrzebowania na paliwo domu jednorodzinnego w sezonie grzewczym.

Literatura

- BORYCKA B. (2009): *Ekologiczne aspekty współspalania biomasy z odpadów owocowo-warzywnych z węglem*. „Energetyka”(6), s. 386–390.
- DRZYBIECKA N. (2004): *Ekologiczne spalanie z użyciem biomasy. W przyrodzie nic nie ginie*. „Nafta & Gaz Biznes”(10).
- GRADZIUK P. (2014): *The Potential of Straw for Energy Purposes in Poland*. „Barometr Regionalny. Analizy i Prognozy”, nr 12(1), s. 15–22.
- KISTLER M., SCHMIDL C., PADOUVAS E., GIEBL H., LOHNINGER J., ELLINGER R., BAUER H., PUXBAUM H. (2012): *Odor, Gaseous and PM10 Emissions from Small Scale Combustion of Wood Types Indigenous to Central Europe*. „Atmospheric Environment”, nr 51, s. 86–93.
- KOWALCZYK-JUŚKO A. (2010): *Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasą spartiny preriowej*. „Problemy Inżynierii Rolniczej”, nr 18(4), s. 69–77.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., SŁAWIŃSKA M. (2012): *Analiza efektów ekonomicznych i ekologicznych spalania drewna w kotłowniach przydomowych*. „Autobusy — Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe”, nr 13(10), s. 181–184.
- NUSBAUMER T., CZASCH C., KLIPPEL N., JOHANSSON L., TULLIN C. (2008): *Particulate Emissions from Biomass Combustion in IEA Countries Survey on Measurements and Emission Factors*. Zurich.
- PATER S., MAGIERA J. (2011): *Ocena zapotrzebowania na energię budynku mieszkalnego przy wykorzystaniu dwóch niezależnych programów obliczeniowych*. „Czasopismo Techniczne. Chemia”, nr 108(2-Ch), s. 165–184.
- SCHMIDL C., LUISSE M., PADOUVAS E., LASSELSBERGER L., RZACA M., CRUZ C.R.S., HANDLER M., PENG G., BAUER H., PUXBAUM H. (2011): *Particulate and Gaseous Emissions from Manually and Automatically Fired Small Scale Combustion Systems*. „Atmospheric Environment”, nr 45(39), s. 7443–7454.
- SEKRET R. (2008): *Emisja substancji szkodliwych w procesie fluidalnego spalania mieszanki biomasy i węgla brunatnego*. Częstochowa, Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego Projekt „Plan Rozwoju Politechniki Częstochowskiej”.
- SZCZEPANEK M. (2009): *Wymagania prawa polskiego dotyczące ograniczenia emisji związków toksycznych do atmosfery*. „Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie”, nr 19(91), s. 97–101.
- ŚCIAŻKO M., ZUWAŁA J., PRONOBIS M. (red.) (2007): *Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce*. Zabrze, Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla Politechniki Śląskiej.
- WIELGOSIŃSKI G. (2009): *Czy biomasa jest paliwem ekologicznym?* [w:] J. Ozonek i M. Pawłowska (red.): *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*. T. 1, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, t. 58, Lublin, Komitet Inżynierii Środowiska PAN.
- ZESPÓŁ OCHRONY POWIETRZA KOBIZE (2013): *Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw. Kotły o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW*. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.