

Streszczenie

Skomplikowana sytuacja polityczno-gospodarcza oraz gwałtowne wzrosty i fluktuacje cen kopalnych surowców energetycznych oraz ograniczenia w ich dostępności i problemy środowiskowe powodują, że odnawialne źródła energii (OZE) będą odgrywały strategiczną rolę w dostarczeniu energii. Biomasa to obecnie główne OZE w Polsce, jak również w Unii Europejskiej (UE). Biomasa stała na cele energetyczne pochodzi głównie z lasów, z przemysłu przetwórstwa drzewnego oraz z rolnictwa. Istotnym źródłem tego surowca energetycznego pochodzenia rolniczego są również wieloletnie rośliny energetyczne dające biomasę w postaci drewna, z j. ang. „short rotation woody crops (SRWC)”, a wśród nich robinia akacjowa, topola i wierzba. Uprawa i produkcja biomasy SRWC oraz ocena jej jakości jako surowca energetycznego to ciągle aktualne zagadnienie w wielu krajach Europy jak również w USA i Kanadzie. Jednakże trzeba dodać, że biomasa drzewna, pochodzenia leśnego jak również rolniczego z upraw SRWC zarówno w formie pierwotnej oraz w formie pozostałości poprodukcyjnych jest niejednorodnym biopaliwem i dlatego jest ona czasami mało atrakcyjna. Ograniczenia te można znacznie zniwelować poprzez jej peletyzację, dzięki czemu wyprodukowane biopaliwo stałe w postaci peletu jest bardziej atrakcyjne i korzystne do generowania energii. Światowa produkcja peletu systematycznie rośnie i w 2021 r. była wyższa o około 6,8% w porównaniu do 2020 r., a w UE był to wzrost o około 9%. W związku z tym rośnie zapotrzebowanie na trociny pochodzenia drzewnego, ich dostępność staje się coraz bardziej ograniczona, a ceny wzrastają co z kolei powoduje wzrost kosztów produkcji peletu. Dlatego też w celu zaspokojenia potrzeb surowcowych konieczne może być też stosowanie do produkcji peletu biomasy drzewnej SRWC.

Podstawą niniejszej rozprawy doktorskiej były wyniki badań polowych produkcji biomasy SRWC w ramach badań Katedry Genetyki Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców (KGHRiIB) Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (UWM). Ponadto analizy laboratoryjne jakości biosurowców oraz badania produkcji peletu z biomasy pochodzenia rolniczego, leśnego oraz ich mieszanin, w połączeniu z oceną kosztów i nakładów energetycznych związanych z ich produkcją.

Głównym celem badań była ocena plonowania i przydatności biomasy trzech gatunków SRWC (robinii akacjowej, topoli i wierzby) pozyskanej w krótkich rotacjach zbioru do produkcji peletu w mieszaninach z trocinami pochodzenia leśnego (sosna, brzoza). Natomiast cele szczegółowe obejmowały określenie: **1.** Wpływu: (i) gatunku, (ii) sposobu wzbogacania gleby, (iii) rotacji zbioru na cechy morfologiczne, przeżywalność, plonowanie i wartość

energetyczną plonu biomasy SRWC przez okres kolejnych 12 lat uprawy. **2.** Właściwości termofizycznych i składu elementarnego biomasy SRWC w zależności od wyżej wymienionych czynników. **3.** Właściwości termofizycznych i składu elementarnego peletu wyprodukowanego z biomasy leśnej (sosny, brzozy) i rolniczej SRWC (robinii akacjowej, topoli i wierzby) oraz z ich mieszanin. Ponadto wykazanie, które rodzaje peletu spełniały parametry określone w wybranych normach kategoryzujących pelet do różnych klas. **4.** Kosztów i energochłonności produkcji peletów z biomasy leśnej i rolniczej SRWC oraz z ich mieszanin w różnych udziałach wagowych.

Spośród badanych trzech gatunków SRWC topola była najbardziej stabilna pod względem przeżywalności roślin (średnio 90,3%) oraz wykształcała istotnie wyższe rośliny (średnio 7,09 m) o grubszych pędach (średnio 51,7 mm) w porównaniu do wierzby i robinii akacjowej. Dlatego topola charakteryzowała się najwyższym plonem suchej masy (średnio 9,1 Mg ha⁻¹ rok⁻¹ s.m.) oraz średnią wartością energetyczną plonu. Natomiast plon wierzby i robinii akacjowej był niższy średnio o odpowiednio 6,5% i 47,5%. Zastosowane sposoby wzbogacenia gleby generalnie wpłynęły pozytywnie na wzrost i rozwój SRWC, a tym samym na plon biomasy i jego wartość energetyczną w porównaniu do obiektów kontrolnych. Najlepsze efekty uzyskano w wariantach, w których elementem wzbogacenia gleby była lignina, słabsze natomiast było oddziaływanie samego nawożenia mineralnego, zastosowanie szczepionki mikoryzowej oraz jednocześnie zastosowanie tych dwóch czynników.

Gatunek SRWC w największym stopniu determinował wilgotność biomasy, zawartość popiołu, azotu, ciepło spalania i wartość opałową. Natomiast rotacja zbioru w dużym stopniu wpływała na zawartość węgla, wodoru i chloru w biomacie. Robinia akacjowa charakteryzowała się średnio najniższą wilgotnością (38,89%) i najwyższą wartością opałową (10,25 GJ Mg⁻¹), zawartością siarki (0,033% s.m.), azotu (0,91% s.m.) i chloru (0,032% s.m.). Topola charakteryzowała się średnio najwyższą wartością ciepła spalania (19,84 GJ Mg⁻¹ s.m.), wilgotnością (56,52%), zawartością węgla (53,46% s.m.) i popiołu (1,67% s.m.). Natomiast wierzba charakteryzowała się średnio najniższą zawartością popiołu (1,25% s.m.), azotu (0,38% s.m.) i chloru (0,19% s.m.) oraz pośrednią wilgotnością.

Potwierdzono możliwość i zasadność produkcji peletu z mieszaniny biomasy drzewnej pochodzenia leśnego oraz z plantacji SRWC. Stwierdzono, że nie tylko pelety z trocin pochodzenia leśnego (sosny i brzozy) charakteryzowały się korzystnymi właściwościami termofizycznymi i składem elementarnym, ale również dodatek biomasy SRWC (wierzby, topoli i robinii akacjowej) do tych trocin umożliwił uzyskanie peletów, które w większości parametrów spełniały wymagania norm jakościowych dla peletów ISO, PFI i KRFI. Trzeba

jednak podkreślić, że jakość uzyskanego peletu z mieszaniny biomasy pogarszała się (głównie w odniesieniu do wzrostu zawartości popiołu, azotu, siarki czy chloru) wraz ze wzrostem udziału biomasy SRWC w stosunku do czystych trocin z gatunków leśnych. Ze względu na różnorodność i zmienność biomasy SRWC od biomasy pochodzenia leśnego, należy wskazać, że dodatek 25% biomasy wierzby lub topoli do trocin sosnowych pozwalał zachować badane cechy wyprodukowanego peletu na najwyższym poziomie wskazywanym przez normy jakościowe. Dlatego też w odniesieniu wyłącznie do klasy A1 według normy ISO i klasy Grade 1 według normy KFRI w całości spełniały je trzy rodzaje peletów: (i) sosnowy; (ii) z mieszaniny sosny 75% i wierzby 25% – SP75+W25; (iii) z mieszaniny sosny 75% i topoli 25% – SP75+P25.

Najniższe koszty (339,7 € Mg⁻¹) i nakłady energetyczne (1448 kWh Mg⁻¹) produkcji peletu stwierdzono w przypadku trocin sosny. Koszty produkcji peletu z topoli i wierzby były wyższe w zakresie odpowiednio 5-6%, a z robinii akacjowej o 8,5% w porównaniu do peletu sosnowego. Natomiast nakłady energetyczne produkcji peletu z wierzby, robinii akacjowej i topoli były wyższe o 48,1; 50,4 i 53,2%. W strukturze kosztów i nakładów energetycznych produkcji peletów zdecydowanie największy udział stanowiły odpowiednio, koszty zakupu surowców (50,3–57,8%) i nakłady energetyczne na ich suszenie (74,6–82,6%). Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji peletu z trocin sosny i brzozy (3,3–3,5) był wyższy niż w przypadku SRWC (ok. 2,2). Tym nie mniej wykazano, że dodatek 25% biomasy SRWC do trocin umożliwiał uzyskanie peletów, dla których wskaźnik efektywności energetycznej przekroczył wartość 3,0. Zwiększanie udziału biomasy SRWC z 25% przez 50% do 75% w stosunku do trocin sosny i brzozy powodowało wzrost kosztów i energochłonności oraz spadek wskaźników efektywności energetycznej produkcji peletów powstałych z tych mieszanin. Mimo tego należy uznać, że biomasa SRWC może być uwzględniana w produkcji peletu w mieszaninach z biomasą drzewną pochodzenia leśnego, ponieważ jest to ważne zarówno z punktu widzenia producentów jak i użytkowników końcowych peletu, szczególnie w sytuacji dynamicznych zmian na rynku surowców energetycznych i gdy na rynku mogą występować niedobory surowca w postaci trocin pochodzenia leśnego.

Słowa kluczowe: Robinia akacjowa; Topola; Wierzba; Sosna; Brzoza; Biomasa drzewna; Dendromasa, Plon biomasy; Rotacja zbioru; Wartość energetyczna plonu; Właściwości termofizyczne; Skład elementarny; Wilgotność, Zawartość popiołu; Wartość opałowa; Pelet wierzbowy; Pelet sosnowy; Pelet rolniczy; Pelet leśny; Pelet z mieszaniny biomasy; Koszty produkcji peletu; Energochłonność produkcji peletu, Efektywność produkcji peletu