

*Aleksander Lisowski, Magdalena Dąbrowska, Adam Strużyk,
Jacek Klonowski
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Sławomir Podlaski
Katedra Fizjologii Roślin
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

OCENA ROZKŁADU DŁUGOŚCI CZĄSTEK ROŚLIN ENERGETYCZNYCH ROZDROBNIONYCH W ROZDRABNIACZU BIJAKOWYM

Streszczenie

Materiałem badawczym były rozdrobnione cząstki roślin wierzby krzewiastej, róży wielokwiatowej, miskantusa olbrzymiego, rdestu sachalińskiego, spartiny preriowej, ślazuwa pensylwańskiego i topinamburu. Różnice w rozkładach długości cząstek mieszanin były cechą gatunkową roślin energetycznych. Spośród mieszanin rozdrobnionych roślin długość cząstek wierzby charakteryzowała się największą średnią geometryczną i rozkład długości był najlepiej wyrównany, a mieszaniny z roślin topinambura i spartiny były najkrótsze, ale najbardziej nierównomierne. Różnice między średnimi wartościami długości cząstek, obliczonymi metodą średniej geometrycznej i według modelu Rosina-Rammlera były mniejsze od wartości odchylenia standardowego, a spójność między tymi wartościami była bardzo wysoka ($R=0,993$).

Słowa kluczowe: rośliny energetyczne, separator sitowy, rozdrabnianie, długość cząstek

Wstęp

Rośliny energetyczne, zaliczane do roślin krótkiej rotacji [Labrecque, Teodorescu 2003] mogą stanowić uzupełnienie produkcji roślinnej na powierzchniach użytków rolnych w regionach, w których nie są w pełni wykorzystane lub na nieużytkach. Zbiór roślin może się odbywać różnymi technikami. Wierzba jednoroczna i rośliny trawiaste mogą być zbierane z wykorzystaniem standardowych maszyn, które stosuje się do zbioru kukurydzy. Spośród roślin energetycznych wierzba krzewiasta może być zbierana z zastosowaniem najbardziej zróżnicowanych technologii. Jeśli zbiór odbywa się w cyklach 2- lub 3-letnich, to rośliny wierzby mogą być zbierane w postaci całych pędów lub rozdrabniane sieczkarniami polowymi, wyposażonymi w specjalne przystawki. Pędy jednorocznej wierzby mogą być zbierane rów-

niez w całości luzem lub wiązane w wiązki bądź belowane z wykorzystaniem specjalnej prasy zwijającej wyposażonej w tarczowy zespół ścinający i bijakowy zespół rozdrabniający [Lavoie i in. 2008]. Wybór technologii zbioru roślin energetycznych zależy od wielu czynników. Zbiór roślin w postaci rozdrobnionej jest zalecany na dużych plantacjach i tam gdzie jest dobrze rozwinięty rynek zbytu, z możliwością wykorzystania biomasy do współspalania w przemysłowym spalaniu węgla. Rozdrobniony materiał roślinny w zespole roboczym sieczkarni polowej może stanowić surowiec do dalszej przeróbki w produkcji brykietów lub peletów.

Konieczne jest dodatkowe rozdrobnienie zrębków lub sieczki, jakie uzyskuje się z sieczkarni, gdyż są one zbyt duże, aby można było wyprodukować trwałe brykiety lub pelety. Do tego celu można zastosować rozdrabniacze bijakowe z wymiennymi sitami o różnej wielkości otworów. Dotychczasowe badania wykazały, że podatność na rozdrabnianie roślin energetycznych zbieranych bezpośrednio z pnia była zróżnicowana [Lisowski i in., w druku]. Rośliny podczas zbioru różniły się jednak znacznie wilgotnością, która zawierała się w przedziale 22,6-52,2% i dlatego trudno było jednoznacznie ocenić wpływ gatunku roślin na rozdrabnianie.

Celem pracy było zbadanie rozkładu długości cząstek rozdrobnionych roślin energetycznych w rozdrabniaczu bijakowym przy podobnej wilgotności materiału i określenie ich podatności na rozdrabnianie.

Materiał i metodyka badań

Materiałem badawczym były rozdrobnione cząstki roślin wierzby krzewiastej, róży wielokwiatowej, miskantusa olbrzymiego, rdestu sachalińskiego, spartiny preriowej, ślazuwca pensylwańskiego i topinamburu. Rośliny te są uprawiane na poletkach Stacji Doświadczalnej w Skierniewicach należącej do Wydziału Rolnictwa i Biologii SGGW w Warszawie.

Metodyka badań obejmowała:

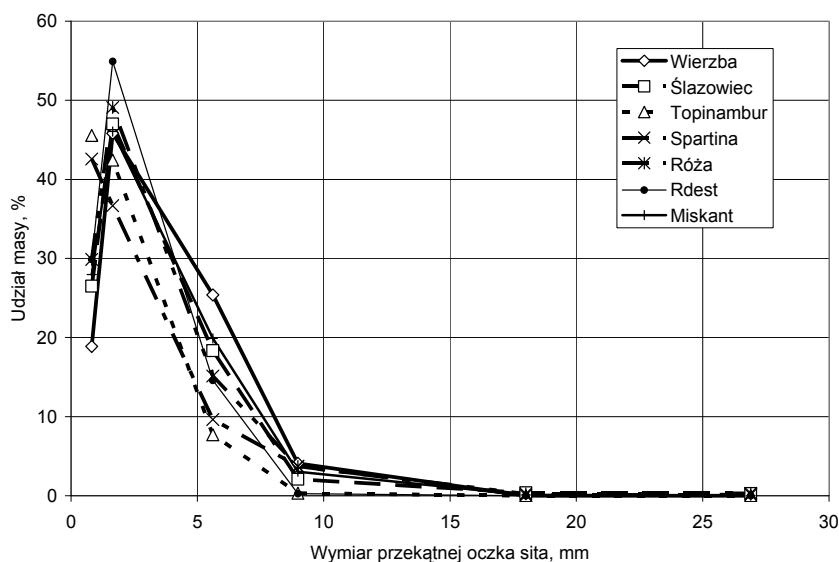
- wyznaczenie rozkładu długości cząstek na separatorze sitowym,
- obliczenie średniej geometrycznej oraz odchylenia standardowego długości cząstek,
- obliczenie hipotetycznego wymiaru przekątnej oczka sita, przy którym przesieje się 50% masy sieczki (wg modelu Rosina-Rammlera),
- porównanie metody średniej geometrycznej z modelem Rosina-Rammlera.

Określenie stopnia rozdrobnienia sieczki z roślin energetycznych przeprowadzono za pomocą separatora sitowego wykonanego wg normy ANSI/ASAE S424.1, zgodnie z metodyką opisaną przez Lisowskiego i in. [2008], a wilgotność roślin określono metodą suszarkowo-wagową. Pomiar rozkładu długości cząstek i obliczenia średnich przeprowadzono dla trzech prób dla każdej rośliny.

Wyniki badań i ich analiza

Zrębki i sieczkę o średniej długości 9-11 mm dosuszono w warunkach naturalnych do wilgotności zawierającej się w wąskim zakresie 5,6-7,3% (tab. 1). Wysuszony materiał roślinny rozdrobniono na rozdrabniaczu bijakowym, wyposażonym w sito o średnicy oczka 10 mm. Bezpośrednio po rozdrobieniu w Katedrze Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie przeprowadzono badania rozkładu długości cząstek na separatorze sitowym i dlatego wilgotność materiału była tylko nieznacznie mniejsza niż podczas rozdrabniania (tab. 1).

Rozdział mieszaniny rozdrobnionego materiału roślinnego siedmiu gatunków roślin energetycznych na separatorze sitowym z pięcioma sitami o oczkach w kształcie kwadratu, których przekątne tworzą w przybliżeniu ciąg geometryczny pozwolił na zbudowanie histogramów długości cząstek (rys. 1). Wymiary przekątnych oczek sit w zestawie od góry były następujące: 26,90, 18,00, 8,98, 5,61 i 1,65 mm. Pod najmniejszym sitem znajdowało się dno bez otworów, na którym zatrzymywały się najdrobniejsze cząstki i w analizie przyjęto połowę wartości przekątnej sąsiadującego sita.



Rys. 1. Rozkład długości cząstek rozdrobnionego materiału roślinnego (Źródło: badania własne)

Fig. 1. Particle length distribution of disintegrated plant material (own study)

Z zaprezentowanych rozkładów długości cząstek można zauważyć, że wszystkie rozkłady są asymetryczne prawostronnie, o czym świadczą wartości skośności zawierające się w wąskim przedziale 1,13-1,71 dla wszystkich roślin. Oznacza to, że w rozkładach długości cząstek występuje przewaga udziału cząstek drobnych. Rozkłady charakteryzują się również nieznaczną

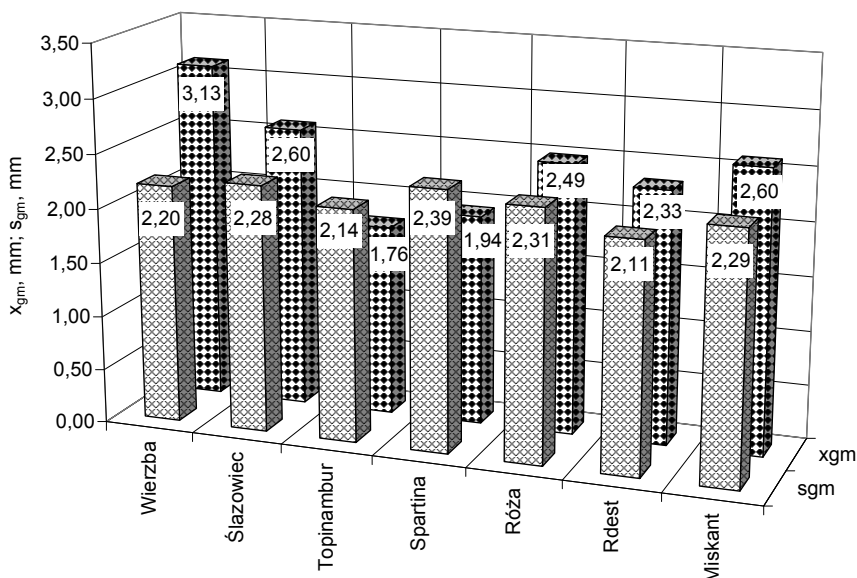
przewagą płaskości w zakresie udziału masy na sicie o najmniejszych otworach (1,65 mm) i dnie, gdzie sumaryczny udział masy wynosił około 80%, a świadczy o tym wskaźnik kurtozy, który zawierał się w przedziale ujemnych wartości od -1,34 do -0,33. Największy udział masy siewki znajdował się na sicie o wymiarze 1,65 mm. Mieszaniny rozdrobnionego materiału z topinambura i spartiny mają względnie najbardziej płaski rozkład (platokurtyczny), o wartościach kurtozy odpowiednio -1,34 i -1,29 oraz o stosunkowo małej asymetrii, gdyż wskaźnik skośności wynosi odpowiednio 1,27 i 1,21.

Najbardziej wysmukłym rozkładem (leptokurtyczny) charakteryzuje się mieszanina materiału z wierzby krzewiastej, gdyż wartość kurtozy wynosi -0,33, ale jego asymetria jest dość duża, gdyż wskaźnik skośności wynosi 1,45. Mimo różnych wartości współczynników kształtów, analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między rozkładami długości cząstek dla siedmiu gatunków roślin. Ponieważ wartości wskaźników skośności i kurtozy nie przekraczają granicznego przedziału (-2, 2), przeto można je uznać za rozkłady normalne, dla których mogą być zastosowane standardowe metody analizy statystycznej.

Wysokie statystycznie różnice w udziałach masy siewki odnotowano dla sit ($F_{v1=5, v2=84} = 3214,2$, przy $\alpha < 0,0001$). Mimo braku różnic między rozkładami długości cząstek stwierdzono interakcję dla gatunków roślin i wymiarów oczek sit ($F_{v1=30, v2=84} = 39,0$, przy $\alpha < 0,0001$), co oznacza, że wystąpiły różnice w udziałach masy siewki dla gatunków roślin na niektórych sitach. Szczegółowa analiza wykazała, że udział masy cząstek na sitach o wymiarach oczek największych był porównywalny i tworzył jednorodną grupę, ze średnią wartością około 0,1%. Największe różnice w rozkładach wystąpiły między cząstkami najdrobniejszymi, znajdującymi się na dnie. Dla topinambura i spartiny średni udział cząstek najdrobniejszych wynosił około 47%, a dla pozostałych roślin około 28%.

Stwierdzono statystycznie istotną różnicę między wartościami średniej geometrycznej i odchylenia standardowego długości cząstek dla siedmiu gatunków roślin energetycznych. Parametry te obliczono zgodnie z normą ASAE S434.1. Wartość statystyki Fishera-Snedecora dla wartości geometrycznej długości cząstek wynosiła $F_{v1=6, v2=14} = 66,1$, a dla odchylenia standardowego $F_{v1=6, v2=14} = 13,1$ (w obu przypadkach przy krytycznym poziomie istotności $\alpha < 0,0001$).

Na podstawie testu Duncana wyodrębniono grupy jednorodne średnich geometrycznych długości cząstek. Grupa jednorodna o najmniejszych wartościach średniej długości cząstek jest utworzona dla topinambura (rys. 2). Kolejną, osobną grupę tworzy spartina, a grupa o największej średniej długości cząstek jest utworzona dla wierzby. Średnie wartości cząstek dla rdestu i róży są statystycznie nieistotne i tworzą wspólną grupę jednorodną. Nie są to grupy wyraźnie zróżnicowane, gdyż kolejną grupę jednorodną wartości średnich tworzą rośliny róży, miskanta i ślazowca.

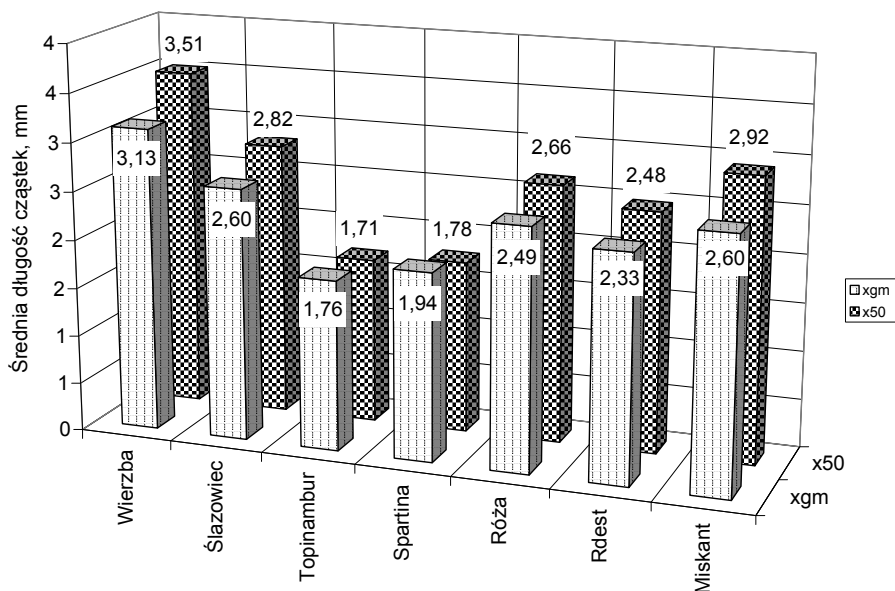


Rys. 2. Porównanie wartości średniej geometrycznej i odchylenia standardowego długości cząstek (Źródło: badania własne)

Fig. 2. Comparison of geometric mean and standard deviation values for particle length (own study)

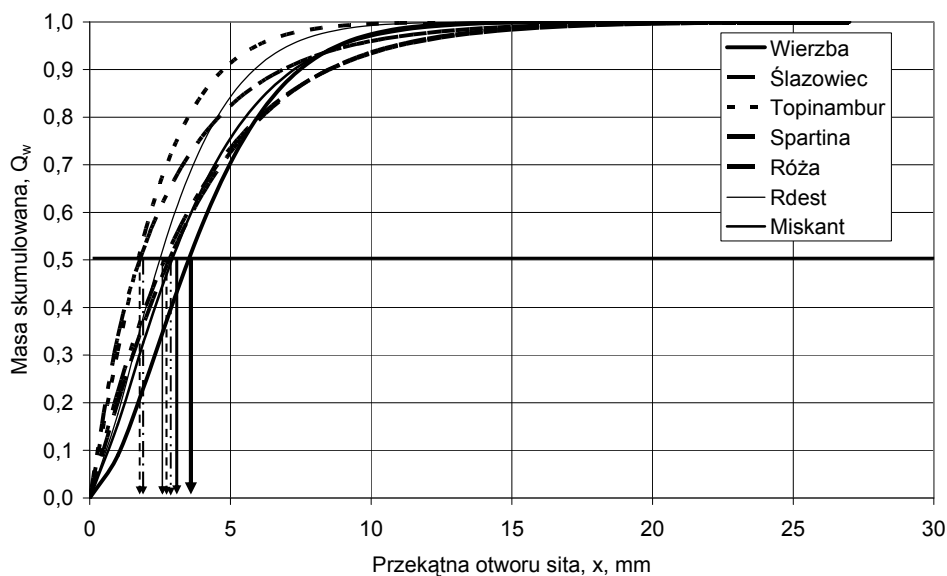
Rozkład długości cząstek wierzby charakteryzował się największą średnią geometryczną i był dobrze wyrównany, a mieszaniny z topinambura i spartiny były najkrótsze, ale najbardziej nierównomierne, gdyż względny rozrzut wokół średniej wynosił około 120%. Do porównania rozkładów długości wykorzystano model Rosina-Rammlera, obliczając hipotetyczny wymiar przekątnej oczka sita x_{50} , przy którym przesieje się 50% masy mieszaniny rozdrobnionego materiału roślinnego. Analiza statystyczna wykazała wysoką korelację między wartościami średniej geometrycznej x_{gm} a środkową wartością x_{50} długości cząstek ($R = 0,993$, przy $\alpha = 0,01$). Interpretacja graficzna tej spójności jest pokazana na rysunku 3. Błąd bezwzględny między tymi wartościami zwiierał się w przedziale 0,05-0,38 mm i był znacznie mniejszy od wartości odchyłeń standardowych (2,11-2,39 mm) dla wartości średniej geometrycznej. Można zatem uznać, że obie średnie mogą być zastosowane do analizy rozkładów długości siewki roślin energetycznych.

Wykorzystując parametry wartości skumulowanej dla roślin energetycznych można graficznie wyznaczyć hipotetyczną wartość środkową długości cząstek. W tym celu należy poprowadzić prostą poziomą o wartości skumulowanej 0,5, która przecinając krzywe wyznacza wartości x_{50} (rys. 4). Ponieważ podczas rozdrabniania roślin energetycznych stosowano te same parametry techniczne i utrzymano na podobnym poziomie wilgotność materiału roślinnego zarówno podczas rozdrabniania, jak i separacji (tab. 1), to można na stwierdzić, że właściwości fizyczne roślin w znacznym stopniu wpływały na



Rys. 3. Średnia geometryczna długości cząstek i średnia wartość przekątnej oczka sita obliczona z modelu Rosina-Rammlera (Źródło: badania własne)

Fig. 3. Geometric mean of particle length and average diagonal value of the screen mesh calculated on the basis of Rosin-Rammler's model



Rys. 4. Skumulowana częstość masy podsitowej wyznaczona na podstawie modelu Rosina-Rammlera (Źródło: badania własne)

Fig. 4. Frequency cumulative of subscreen mass evaluated on the basis of the Rosin-Rammler model

średnie wartości długości cząstek materiału poddawanego złożonym procesom mechanicznym rozcierania, rozrywania, zgniatania i kruszenia. Decydują o tym współczynnik tarcia zewnętrznego i wewnętrznego, wilgotność roślin i ich wymiary, twardość, zwięzłość, sztywność oraz budowa rośliny zarówno odnosząca się do struktury zewnętrznej, jak i wewnętrznej roślin.

Tabela 1. Wilgotność materiału roślinnego podczas rozdrabniania roślin i badania rozkładu długości cząstek

Table 1. Moisture content of plant material during milling and investigations of particle length distribution

Wilgotność materiału roślinnego	Wierzba krzewiasta	Ślaziolec pensylwański	Topinambur	Spartina preriowa	Róża wielokwiatowa	Rdest sachaliński	Miskant olbrzymi
Podczas rozdrabniania	6,2±0,2	5,6±0,1	6,1±0,1	6,0±0,1	7,3±0,2	6,5±0,1	5,6±0,1
Podczas badania rozkładu długości cząstek	6,0±0,1	5,5±0,1	6,0±0,1	6,0±0,1	7,0±0,2	6,5±0,1	5,5±0,1

Źródło: badania własne

Brak udziału części miękkich (np. liści) w wierzbie i większa jej twardość są podstawowymi czynnikami wpływającymi na znacznie większy udział w mieszaniu cząstek dłuższych. Rośliny topinambura i spartiny są najbardziej podatne na rozdrabnianie. Cechy te mogą wpływać na parametry pracy brykieciarki lub pelecarki oraz na zwięzłość i trwałość brykietów lub peletów bądź na potrzebę zróżnicowania parametrów pracy rozdrabniacza bijakowego. Wyniki badań stanowią podstawę do kontynuowania eksperymentów, które pozwolą na dokładniejszą interpretację stwierdzonych różnic między gatunkami roślin energetycznych oraz określenia optymalnych parametrów pracy maszyn stosowanych do przygotowania surowca i jego przetwarzania.

Wnioski

1. Różnice w rozkładach długości cząstek rozdrobnionego materiału w rozdrabniaczu bijakowym są cechą gatunkową roślin energetycznych.
2. Spośród mieszanin rozdrobnionych roślin energetycznych rozkład długości cząstek wierzby był najbardziej wyrównany i średnia geometryczna długość cząstek była największa, natomiast mieszaniny z roślin topinambura i spartiny były najkrótsze, ale najbardziej nierównomierne.
3. Różnice między średnimi wartościami długości cząstek, obliczonymi metodą średniej geometrycznej i wg modelu Rosina-Rammlera są mniejsze od wartości odchylenia standardowego, a spójność między tymi wartościami jest bardzo wysoka ($R = 0,993$).

Bibliografia

Labrecque, M., Teodorescu T. 2003. High biomass achieved by Salix clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy*, 25(2): 135-146

Lavoie f., savoie p., d'amours l., joannis H. 2008. Development and field performance of a willow cutter-shredder-baler. *Applied Engineering in Agriculture*, 24(2): 165-172

Lisowski A., Nowakowski T., Sypuła M., Chołuj D., Wiśniewski G., Urbanovič vá O. 2008. Flexibility of plant energy on breaking up. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW, Agriculture, Agricultural and Forest Engineering* (w druku)

Lisowski A., Sar Ł., Świątek K., Kostyra K. 2008. Separator sitowy do analizy rozkładu długości siewki. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza i Leśna*, 2 : 17-19

ANSI/ASAE S424.1 MAR98: Method of determining and expressing participle size of chopped forage materials by screening

Praca naukowa finansowana ze środków MNiSW w latach 2007-2010,
jako projekt zamawiany PBZ-MNiSW-1/3/2006