

JEDNOSTKOWA MOC EFEKTYWNA POTRZEBNA DO ROZDROBNIENIA ROŚLIN ENERGETYCZNYCH PRZEZNACZONYCH NA BIOGAZ

*Lisowski Aleksander, Jacek Klonowski, Jarosław Chlebowski, Michał Sypuła,
Krzysztof Kostyra, Tomasz Nowakowski, Adam Strużyk, Jan Kamiński,
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

*Małgorzata Powalka
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

Streszczenie. Celem pracy jest empiryczne oszacowanie jednostkowej mocy efektywnej, odniesionej do masy mokrej i suchej substancji, potrzebnej do cięcia pędów wybranych rodzajów roślin energetycznych przeznaczonych na fermentację beztlenową do produkcji biogazu. W badaniach wykorzystano materiał roślinny topinambura, rdestowca sachalińskiego, ślazuowca pensylwańskiego, palczatki Gerarda, miskanta olbrzymiego, prosa różgowatego i spartiny preriowej. Pędy roślin rozdrabniano w sieczkarni wyposażonej w czujniki do pomiaru prędkości obrotowej i momentu obrotowego na WOM ciągnika oraz ciśnienia i natężenia przepływu oleju w układzie hydraulicznym napędu adaptera i zespołu walców wciągająco-zgniatających. Rozdrobniony materiał scharakteryzowano przez podanie wilgotności (70,70-85,07%) i średniej geometrycznej wymiaru cząstek (5,08-10,40 mm), które były statystycznie istotnie zróżnicowane, mimo że rośliny zbierano w tym samym czasie (koniec czerwca) i rozdrabniano w porównywalnych warunkach funkcjonalnych sieczkarni. Stwierdzono, że jednostkowa moc efektywna, odniesiona do masy mokrej i suchej substancji, potrzebna do cięcia materiału była zależna od gatunku rośliny i wilgotności. Najmniejsza jednostkowa moc efektywna była potrzebna do cięcia topinambura ($2,69 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Charakteryzowała się ona również najmniejszą dyspersją, co pozwala na zastosowanie ciągnika o najmniejszym zapasie mocy silnika. Podczas cięcia spartiny preriowej zapotrzebowanie na moc tego rodzaju było niemal dwukrotnie większe ($4,80 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Słowa kluczowe: jednostkowa moc efektywna, rozdrabnianie, rośliny energetyczne

Wstęp

Najbardziej energochłonnym procesem podczas pracy sieczkarni z toporowym zespołem tnącym jest rozdrabnianie materiału roślinnego. Nakłady te mogą osiągnąć nawet 85% za-

potrzebowania całkowitego, zwłaszcza jeśli w dążeniu do spełnienia wymagań jakościowych jest zmniejszana długość cięcia materiału roślinnego [Čepurnoj, Belov 2004; O'Dogherty 1982; Savoie i in. 1989]. Zbyt krótka sieczka nie jest korzystna dla przeżuwaczy [Zhang i in. 2003], a zalecenia specjalistów z żywienia zwierząt wskazują, że średni wymiar cząstek powinien wynosić 15-20 mm, a nawet 30 mm [Schwab i in. 2002; Lisowski i in. 2009]. Cząstki powinny być w większym stopniu rozwłóknione przez rozcieranie, miażdżenie i rozgniatanie, co osiąga się przez zmniejszenie częstotliwości cięcia i zastosowanie dodatkowych elementów wspomagających rozrywanie źdźbeł roślin i rozdrabnianie ziaren (w przypadku kukurydzy). Rozdrobnienie materiału przeznaczonego na kiszenie i w dalszej kolejności na fermentację beztlenową, w wyniku której wytwarza się biogaz powinno być intensywniejsze, o mniejszych wymiarach cząstek 4-8 mm. Taki zakres rozdrobnienia można otrzymać w wyniku podziału składników pędów roślin nożem przez zmniejszenie prędkości podawania materiału do zespołu tnącego oraz zwiększenie częstotliwości cięcia, gdyż z naszych doświadczeń wynika, że dodatkowe rozcieranie cząstek po pocięciu nie zmniejsza ich wymiarów w sposób znaczący [Lisowski i in. 2008a].

Zmniejszenie prędkości podawania materiału do gardzieli zespołu tnącego może ograniczyć wydajność sieczkarni. Konsekwencją zmniejszenia prędkości podawania materiału roślinnego jest zwiększenie grubości jego warstwy w gardzieli, co skutkuje zwiększeniem nierównomierności długości cięcia i wzrostem oporów cięcia. Zmianę częstotliwości cięcia można uzyskać przez zmianę prędkości obrotowej tarczy nożowej i liczby noży zainstalowanych na tarczy [Lisowski i in. 2009]. Tylko pozornie może się wydawać, że na efekty energetyczne i jakościowe pracy toporowego zespołu rozdrabniającego nie ma wpływu sposób zmiany częstotliwości cięcia. Na podstawie dotychczasowych wyników badań można stwierdzić, że zmniejszając częstotliwość cięcia i stosując dodatkowe elementy, generujące opory, ograniczy się obciążenie energetyczne zespołu i poprawi jakość rozdrabniania materiału roślinnego. Ze względów energetycznych korzystniejsza jest zmiana długości sieczki przez zmianę liczby noży niż przez zmianę prędkości obrotowej tarczy nożowej [Lisowski, Kostyra 2008b].

Przy rozważaniu wykorzystania roślin energetycznych na biogaz zasadne jest zbilansowanie energetyczne, w którym po jednej stronie mamy nakłady poniesione na wszystkich etapach produkcji surowca i jego przetwarzania na biogaz, a po drugiej stronie tego zastawienia jest wartość energetyczna pozyskanego biogazu. Jednym z etapów technologii produkcji surowca jest jego zbiór, w tym rozdrabnianie materiału roślinnego na cząstki o wymiarze spełniającym wymagania technologiczne fermentacji beztlenowej. Dlatego celem pracy jest empiryczne oszacowanie jednostkowej mocy efektywnej potrzebnej do cięcia pędów wybranych rodzajów roślin energetycznych przeznaczonych na fermentację beztlenową do produkcji biogazu.

Jako kryterium oceny przyjęto wartość średnią i maksymalną jednostkowej mocy efektywnej, odniesionej do mokrej i suchej substancji, potrzebnej do pracy zespołu rozdrabniającego w porównywalnych warunkach funkcjonalnych sieczkarni.

Material i metody

W badaniach wykorzystano materiał roślinny topinambura, rdestowca sachalińskiego, ślázowca pensylwańskiego, palczatki Gerarda, miskanta olbrzymiego, prosa różgowatego i spartiny preriowej. Rośliny ścięto wykaszarką spalinową z poletek Stacji Doświadczalnej w Skierniewicach, która należy do SGGW w Warszawie.

Zasadnicze badania przeprowadzono na stanowisku zaprojektowanym na bazie przyczepianej siewczarni polowej Z 374 z toporowym zespołem rozdrabniającym współpracującą z ciągnikiem Ursus 1234 z silnikiem o mocy 85 kW [Lisowski i in. 2009]. Toporowy zespół rozdrabniający siewczarni był wyposażony w gładką płytkę denną i proste łopatki rzutnika z ostrą krawędzią natarcia, a szczelina robocza między tymi elementami wynosiła 8 mm. Przy prędkości kątowej tarczy $104,7 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ i 10 nożach oraz prędkości zasilania walców wciągająco-zagęszczających $0,82 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ osiągnięto częstotliwości cięcia 167 Hz i teoretyczną długość cząstek materiału 4,9 mm.

Próbki roślin o masie 15 kg odważono na wadze dziesiętnej z dokładnością 0,2 kg. Układano je na odcinku 4 m przenośnika taśmowego poruszającego się z prędkością $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, który służył do transportu całych pędów do adaptera siewczarni w postaci podbieracza pokosu.

Prędkość obrotową wału odbioru mocy ciągnika rejestrowano obrotomierzem (dokładność $\pm 1 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) połączonym integralnie z momentomierzem indukcyjnym MIR 1000 (dokładność $\pm 0,8 \text{ Nm}$).

Do pomiaru mocy hydraulicznej w układzie napędowym walców wciągająco-zgniatających i adaptera zastosowano zestaw typu FT12PM28KT42.TR firmy APEK składający się z piezorezystancyjnych czujników ciśnienia PC-28 o zakresie pomiarowym 0-25 MPa (dokładność pomiaru $\pm 0,01 \text{ MPa}$) i turbinowych czujników przepływu oleju FT12 o zakresie pomiarowym $0-76 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (dokładność pomiaru $\pm 0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), a do pomiaru prędkości obrotowych wałów napędowych tych walców tachometri z czujnikami zbliżeniowymi (dokładność pomiaru $\pm 0,1 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$).

Z przetwornikami współpracował wzmacniacz DMCplus firmy Hottinger oraz komputer, wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie.

Za jednostkową moc efektywną potrzebną do napędu zespołu rozdrabniającego przyjęto różnicę między mocą brutto, zmierzoną w czasie pracy zespołu pod obciążeniem, a mocą biegu jałowego, odniesioną do jednostki masy mokrej i suchej substancji. Zapotrzebowanie na moc zespołu rozdrabniającego otrzymano odejmując od mocy zmierzonej na WOM moc pobieraną przez układ hydrauliczny napędzający walce wciągająco-zgniatające i adapter.

Uwzględniając cel badań materiał roślinny scharakteryzowano przez podanie wilgotności rozdrobnionego materiału i średniej geometrycznej wartości wymiarów cząstek.

Średnią wilgotność materiału roślinnego (względem materiału wilgotnego) wyznaczono metodą suszarkowo-wagową według ASABE Standard S358.2 dla kiszonek [ASABE Standards 2011a]. Z pociętego materiału pobierano po trzy próbki o masie 20 g każda. Próbki ważono na wadze elektronicznej z dokładnością 0,01 g i suszono w temperaturze $103 \pm 2^\circ\text{C}$ w czasie 24 h.

Do oceny rozkładu wymiarów cząstek pociętego materiału roślinnego zastosowano separator sitowy [Lisowski i in. 2008c], spełniający wymagania normy ASABE Standard S424.1 [ASABE Standards 2011b]. Do pomiarów użyto pięć uśrednionych, niezagęszczonych próbek o objętości 10 dm^3 . Czas przesiewania 120 s kontrolowano stoperem,

a poszczególne frakcje cząstek ważono na wadze elektronicznej RADWAG WSP 600/C z dokładnością 0,01 g. Dla podstawowych parametrów pracy siewczarki (prędkość obrotowa tarczy nożowej 1000 obr.·min⁻¹, 10 noży, zasilanie materiału 3,75 kg·s⁻¹, czyli 13,5 t·h⁻¹) sporządzono charakterystykę wymiarów cząstek. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1. Wyniki badań opracowano metodami analizy statystycznej z wykorzystaniem pakietu Statistica v.10.

Tabela 1. Charakterystyka wymiarów cząstek materiału roślin energetycznych

Table 1. Description of particles of energy plants material fractions

Roślina	Średnia geometryczna cząstek x_g [mm]	Odchylenie standardowe bezwymiarowe [s_g]	Odchylenie standardowe s_{gw} [mm]
Spartina preriowa	5,08	1,97	17,83
Proso różgowe	5,39	1,92	17,94
Palczatka Gerarda	5,91	1,81	17,51
Miskant olbrzymi	6,24	1,88	19,96
Ślazowiec pensylwański	7,83	1,86	24,71
Rdestowiec sachaliński	8,18	2,06	31,54
Topinambur	10,40	1,80	30,49

Źródło: opracowanie własne

Wyniki badań i ich dyskusja

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji jednoczynnikowej można stwierdzić, że średnia prędkość obrotowa wału odbioru mocy ciągnika na biegu jałowym była tylko nieznacznie większa podczas uruchomienia maszyny przed rozdrabnianiem roślin palczatki Gerarda, gdyż wynosiła 1032 obr. min⁻¹, wobec średniej ogólnej 1020 obr. min⁻¹ (odchylenie względne wynosiło 1,2%). Wartość testu Fishera-Snedecora wynosiła $F_{v1=6, v2=18} = 3,09$, przy krytycznym poziomie istotności $p = 0,0294$. Dla przyjętego, bardziej ostrego poziomu istotności $p = 0,01$ nie ma zatem podstaw od odrzucenia hipotezy o równości wartości prędkości obrotowej wału odbioru mocy ciągnika na biegu jałowym przed obciążeniem siewczarki materiałem roślinnym. Maksymalny błąd standardowy dla rozpatrywanej prędkości wyniósł 5 obr. min⁻¹. Przyjęcie jednakowej wartości prędkości obrotowej wału odbioru mocy ciągnika na biegu jałowym dla wszystkich siedmiu rodzajów roślin jest zasadne i jest dowodem na powtarzalność prób pomiarowych.

Mimo że rośliny były zbierane w tym samym czasie (koniec czerwca), to różniły się one wilgotnością, ze względu na ich rodzaj oraz odmienną strukturę tkankową, co wskazuje na zasadność zbadania tego parametru. Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono statystycznie istotne zróżnicowanie wartości wilgotności materiału roślinnego ($F_{v1=6, v2=14} = 240,06$, $p < 0,0001$). Ze szczegółowej analizy testem Duncana wynika, że można wyodrębnić sześć grup homogenicznych, jakie tworzą wartości wilgotności (tab. 2). Spartina preriowa miała najmniejszą wilgotność (70,70%), a w dalszej kolejności proso różgowe (73,98%). Do jednej grupy homogenicznej wartości wilgotności należą ślazowiec pensylwański (75,14%) i rdestowiec sachaliński (74,87%), gdyż różnice między tymi wartościami wynoszą tylko 0,27% i nie są statystycznie istotne bowiem graniczny limit istotnych różnic wynosi 0,87%. W postępującym rankingu zwiększających się wartości

Jednostkowa moc efektywna...

wilgotności należą palczatka Gerarda (76,41%), miskant olbrzymi (77,79%) i o największej wilgotności topinambur (85,07%). Przy porównywalnych parametrach roboczych siewkarni, wilgotność mogła mieć wpływ na zróżnicowanie zapotrzebowania na moc efektywną do rozdrabniania materiału roślin energetycznych.

Tabela 2. Wyniki szczegółowej analizy statystycznej wilgotności materiału z podziałem na grupy homogeniczne według rodzaju roślin (SD – odchylenie standardowe)

Table 2. Results of a detailed statistical analysis of the material moisture divided into uniform groups according to the plants type (SD – standard deviation)

Roślina	Średnia wartość wilgotności \pm SD, [%]	Grupy homogeniczne					
Spartina periowa	70,70 \pm 0,10	X					
Proso różgowate	73,98 \pm 0,10		X				
Rdestowiec sachaliński	74,87 \pm 0,11			X			
Ślázowiec pensylwański	75,14 \pm 0,53			X			
Palczatka Gerarda	76,41 \pm 1,10				X		
Miskant olbrzymi	77,79 \pm 0,38					X	
Topinambur	85,07 \pm 0,25						X

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji jednoczynnikowej można stwierdzić, że wszystkie cztery parametry kryterialne, dotyczące jednostkowej mocy efektywnej odniesionej do masy mokrej i suchej substancji były statystycznie istotnie zróżnicowane (tab. 3). We wszystkich przypadkach wartość współczynnika Fishera-Snedecora była wysoka (8,25-20,11), a krytyczny poziom istotności niski (poniżej 0,0002), co wskazuje na bardzo silny wpływ gatunku roślin rozdrabnianych na wyróżnione jednostkowe moce efektywne.

Tabela 3. Wyniki analizy wariancji jednoczynnikowej roślin wpływających na wartość średnią i maksymalną jednostkową moc efektywną odniesioną do masy mokrej i suchej substancji

Table 3. Results of one-factor analysis of variance of plants influencing the mean value and the maximum effective power referred to the mass of wet and dry substance

Parametr	Suma kwadratów	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat	Współczynnik F	Krytyczny poziom istotności p
P_{tm}	12,03	6	2,00	13,38	<0,0001
P_{tmmax}	27,52	6	4,59	8,25	0,0002
P_{tsm}	0,72	6	0,12	20,11	<0,0001
P_{tsmmax}	1,62	6	0,27	12,44	<0,0001

Źródło: opracowanie własne

Oznaczenia:

P_{tm} – jednostkowa moc efektywna cięcia odniesiona do masy mokrej substancji [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$],

P_{tmmax} – jednostkowa moc efektywna maksymalna cięcia odniesiona do masy mokrej substancji [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$],

P_{tsm} – jednostkowa moc efektywna cięcia odniesiona do masy suchej substancji [$\text{kJ} \cdot \text{kg}_{sm}^{-1}$],

P_{tsmmax} – jednostkowa moc efektywna maksymalna cięcia odniesiona do masy suchej substancji [$\text{kJ} \cdot \text{kg}_{sm}^{-1}$].

Wyniki szczegółowej analizy testem Duncana dla średnich wartości parametrów nie są już tak powtarzalne między mocą a wilgotnością (tab. 2, 4), ale istnieje statystycznie istotna korelacja ujemna między wartościami jednostkowej mocy efektywnej a wilgotnością (tab. 5).

Tabela 4. Wyniki szczegółowej analizy statystycznej testem Duncana wartości średniej i maksymalnej jednostkowej mocy efektywnej odniesionej do masy mokrej i suchej substancji z podziałem na grupy homogeniczne według rodzaju roślin (SD – odchylenie standardowe)

Table 4. The results of the detailed statistical analysis made by Duncan test of the value of the mean and the maximum unit effective power referred to the mass of wet and dry substance divided into uniform groups according to the plants type (SD-standard deviation)

Roślina	$P_{tm} \pm \text{SD} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$	Grupy homogeniczne				
Topinambur	2,69 ±0,19	X				
Rdestowiec sachaliński	3,30 ±0,27	X	X			
Ślázowiec pensylwański	3,78 ±0,22		X	X		
Palczatka Gerarda	4,11 ±0,19			X	X	
Miskant olbrzymi	4,26 ±0,19			X	X	X
Proso różgowate	4,54 ±0,19				X	X
Spartina preriowa	4,80 ±0,19					X
Roślina	$P_{tmmax} \pm \text{SD} [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$	Grupy homogeniczne				
Topinambur	4,55 ±0,37	X				
Rdestowiec sachaliński	6,13 ±0,53		X			
Palczatka Gerarda	6,36 ±0,37		X			
Ślázowiec pensylwański	6,79 ±0,43		X	X		
Proso różgowate	7,27 ±0,37		X	X		
Spartina preriowa	7,58 ±0,37			X		
Miskant olbrzymi	7,64 ±0,37			X		
Roślina	$P_{tsm} \pm \text{SD} [\text{kJ} \cdot \text{kg}_{sm}^{-1}]$	Grupy homogeniczne				
Topinambur	0,47 ±0,04	X				
Rdestowiec sachaliński	0,66 ±0,05		X			
Ślázowiec pensylwański	0,75 ±0,04		X	X		
Palczatka Gerarda	0,81 ±0,04			X	X	
Miskant olbrzymi	0,82 ±0,04			X	X	
Proso różgowate	0,92 ±0,04				X	X
Spartina preriowa	1,02 ±0,04					X
Roślina	$P_{tsmmax} \pm \text{SD} [\text{kJ} \cdot \text{kg}_{sm}^{-1}]$	Grupy homogeniczne				
Topinambur	0,80 ±0,07	X				
Rdestowiec sachaliński	1,23 ±0,10		X	X		
Palczatka Gerarda	1,25 ±0,07		X			

Jednostkowa moc efektywna...

Ślaziowiec pensylwański	1,35 ±0,08		X	X		
Miskant olbrzymi	1,47 ±0,07			X	X	
Proso różgowe	1,47 ±0,07			X	X	
Spartina preriowa	1,61 ±0,07				X	

Źródło: opracowanie własne

Dobrze jest to widoczne w formie graficznej interpretacji (rys. 1). Punkty wokół każdej prostej regresyjnej są wartościami odpowiedniej jednostkowej mocy efektywnej i ich kolejność odpowiada rankingom w tabeli 4. Mniejszy rozrzut wartości średnich i maksymalnych jednostkowej mocy efektywnej odniesionej do masy suchej substancji wynika ze związku fizycznego między zmiennymi zależnymi a zmienną niezależną.

Interpretując w sposób holistyczny otrzymane wyniki badań można stwierdzić, że zapotrzebowanie na jednostkową moc efektywną (średnią) cięcia materiału roślinnego zależy w głównej mierze od wilgotności roślin i zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna oraz od struktury tkanki roślin i cech wytrzymałościowych materiału. To ostatnie spostrzeżenie jest konkluzją z dotychczasowych wyników badań łodyg roślin poddanych deformacjom na maszynie wytrzymałościowej [Lisowski 2010]. We wszystkich przypadkach zapotrzebowanie na jednostkową moc efektywną cięcia pędów topinambura o największej wilgotności (85,07%) było najmniejsze ($P_m = 2,69 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{m\text{max}} = 4,55 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{tsm} = 0,47 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{tsm\text{max}} = 0,80 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wartości tej mocy charakteryzowały się najmniejszą dyspersją, co pozwala na zastosowanie ciągnika o najmniejszym zapasie mocy silnika.

Mimo że pędy rdestowca sachalińskiego miały o 10,20% mniejszą wilgotność niż topinambura (tab. 2), to w rankingu zapotrzebowania na jednostkową moc efektywną zajęły drugą pozycję dla każdej analizowanej wielkości mocy (tab. 4). Wyjaśnienia można poszukiwać w charakterystykach procesu cięcia roślin. W gardzieli zespołu tnącego podczas cięcia materiału roślinnego pod wpływem nacisku ostrza noża dochodzi bowiem w pierwszej kolejności do ściskania warstwy materiału, niektóre składniki roślin ulegają zginaniu, a następnie po przekroczeniu granicy wytrzymałości dla danego materiału następuje przecięcie pewnej grubości warstwy. Po takiej fazie następuje ponowne, cykliczne ściśnięcie warstwy materiału i jej przecięcie.

Tabela 5. Wartości współczynników korelacji wilgotności ze średnią i maksymalną jednostkową mocą efektywną odniesioną do masy mokrej i suchej substancji

Table 5. Values of coefficients of correlation of moisture with the mean and the maximum unit effective power referred to the mass of wet and dry substance

Parametr	P_m	$P_{m\text{max}}$	P_{tsm}	$P_{tsm\text{max}}$
Wilgotność	-0,7939	-0,7971	-0,8627	-0,8869

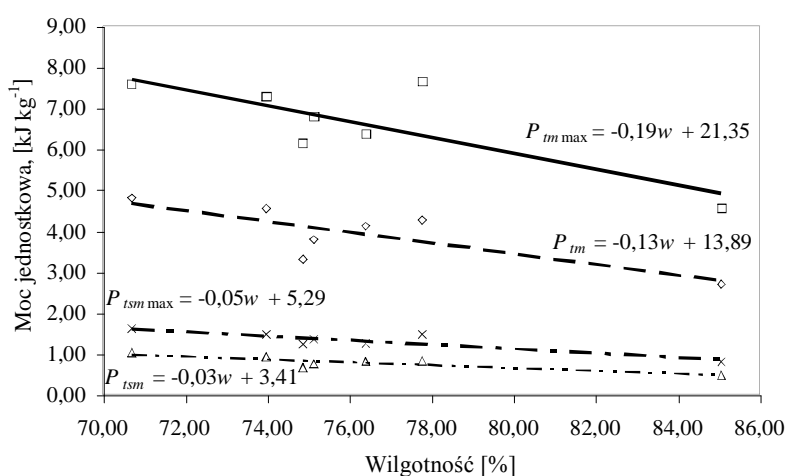
Oznaczenia jak pod tab. 3.

Symbols as under the table 3.

Źródło: opracowanie własne

Charakterystyki tych zjawisk fizycznych są specyficzne dla materiału roślinnego. Moduł sprężystości dla łodyg przy cięciu, ściskaniu, zginaniu oraz energia jednostkowa cięcia odniesiona do pola przekroju poprzecznego deformowanego materiału były najmniejsze dla

topinambura i rdestowca sachalińskiego [Lisowski 2010]. Łodygi miskanta olbrzymiego cechowały się natomiast dużymi wartościami wytrzymałościowymi, zwłaszcza energią jednostkową cięcia [Lisowski 2010] i dlatego zapotrzebowanie na jednostkową moc efektywną cięcia było duże ($P_{tm} = 4,26 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{tm\max} = 7,64 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{tsm} = 1,02 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P_{tsm\max} = 1,47 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$), w tym wartości maksymalne tej mocy odniesionej do masy mokrej substancji były największe (tab. 4). Pełna interpretacja otrzymanych wyników badań wymaga przeprowadzenia spójnych eksperymentów w tym samym czasie, dla tej samej fazy rozwojowej roślin, ale te wstępne wyniki badań wskazują na potrzebę przeprowadzenia dalszych eksperymentów, które pozwolą na lepszą ich interpretację, zwłaszcza w odniesieniu do pytania dlaczego tak jest, jak to obserwujemy.



Źródło: opracowanie własne

- Rys. 1. Zależności średniej i maksymalnej jednostkowej mocy efektywnej odniesionej do masy mokrej i suchej substancji od wilgotności roślin (kolejność punktów odpowiada rankingowi wartości w tab. 4)
- Fig. 1. Dependencies of the mean and the maximum unit effective power referred to the mass of wet and dry substance to plants moisture (order of points responds to the value ranking in table 4)

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań można stwierdzić, że zapotrzebowanie jednostkowej mocy efektywnej cięcia wybranych rodzajów roślin energetycznych, zbieranych w fazie kłoszenia, przeznaczonych na fermentację beztlenową do produkcji biogazu było silnie zróżnicowane, a w skrajnym przypadku dla spartiny preriowej i topinambura było niemal dwukrotnie większe, odpowiednio $4,80 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $2,69 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. W bilansie energetycznym wskazane jest zatem oddzielne analizowanie nakładów w procesach przetwarzania materiału roślinnego przeznaczanego na cele energetyczne.

Wnioski

1. Jednostkowa moc efektywna, odniesiona do masy mokrej i suchej substancji, potrzebna do cięcia materiału była zależna od gatunku rośliny (miskant olbrzymi, topinambur, ślaczowiec pensylwański, spartina preriowa, rdestowiec sachaliński, palczatka Gerarda, proso różgocate) i wilgotności materiału. Różnice w nakładach energetycznych na cięcie badanych materiałów roślinnych wynikają prawdopodobnie z odmiennych charakterystyk wytrzymałościowych materiałów, które są związane ze strukturą tkanki i wilgotnością.
2. Najmniejsza jednostkowa moc efektywna była potrzebna do cięcia topinambura ($2,69 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Charakteryzowała się ona również najmniejszą dyspersją, co pozwala na zastosowanie ciągnika o najmniejszym zapasie mocy silnika. Podczas cięcia spartiny preriowej zapotrzebowanie na moc tego rodzaju było niemal dwukrotnie większe ($4,80 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Bibliografia

- Čepurnoj, A.I., Belov, M.I. (2004): Rasčet diskovo izmiel'čajušče-švyrjajušcego apparata. Traktory & Sel'khoz mashiny, 11, 33-42.
- Lisowski A. (red.). (2009): Efekty działania elementów wspomagających rozdrabnianie roślin kukurydzy a jakość kiszonki. Wyd. SGGW, Warszawa, ISBN 978-83-7583-158-0.
- Lisowski A., (red). (2010): Technologie zbioru roślin energetycznych. Wyd. SGGW, Warszawa, ISBN 978-83-7583-222-8.
- Lisowski A., Kostyra K. (2008a): Dodatkowe rozdrabnianie ziaren i rozrywanie cząstek kukurydzy sposobem na poprawienie jakości pociętej zielonki. Inżynieria Rolnicza, 9(107), 189-195.
- Lisowski A., Kostyra K. (2008b): Redukcja częstotliwości cięcia i zastosowanie dodatkowego rozdrabniania kierunkiem do zmniejszenia obciążeń energetycznych zespołu rozdrabniającego. Inżynieria Rolnicza, 9(107), 197-204.
- Lisowski A., Świątek K., Kostyra K., Chlebowski J. (2008c): Methods for evaluation of breaking up of maize chaff separated on the sieve separator. Annals Warsaw University Life Sciences - SGGW, Agriculture (Agricultural and Forest Engineering), 52, 23-30.
- O'Dogherty, M.J. (1982): A review of research on forage chopping. Journal of Agricultural Engineering Research, 27, 267-289.
- Savoie P., Tremblay D., Thériault R., Wauthy J.-M., Vigneault C. (1989): Forage chopping energy vs. length of cut. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., 32(2), 437-442.
- Schwab E.C., Shaver R.D., Shinnars K.J., Lauer J.G., Coors J.G. (2002): Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. J. Dairy Sci., 85, 613-623.
- Zhang M., Sword M.L., Buckmaster D.R., Cauffman G.R. (2003): Design and evaluation of a corn silage harvester using shredding and flail cutting. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., 46(6), 1503-1511.
- ASABE Standards. (2011a): Moisture measurement – forages ASABE S358.2 (R2008). In: ASABE Standards 2011, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA, 780-781.

ASABE Standards. (2011b): Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening ANSI/ASABE S424.1 (R2007). In: ASABE Standards 2011, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, MI, USA, 791-794.

UNIT EFFECTIVE POWER REQUIRED FOR CUTTING BIOGAS ENERGY PLANTS

Abstract. The purpose of the work is to empirically estimate unit effective power referred to wet and dry mass required to cut roots of the selected energy plants for anaerobic digestion for biogas production. The following plant materials were used for research: topinambour, giant knoweed, Virginia mallow, Gerard cymbopogon, giant miscanthus, switchgrass and spartina pectinata. Plant roots were cut in a chaff-cutter equipped with a sensor for measuring rotational speed and turning moment at the tractor PTO and for measuring pressure and intensity of oil flow in a hydraulic system of an adapter drive and a pulling and crushing shafts unit. Cut material was characterised by determining moisture (70, 70 -85,07%) and geometric mean of fractions dimension (5,08-10,40 mm), which were statistically considerably different, although plants were collected at the same time (the end of June) and were cut in comparable functional conditions of a chaff-cutter. It was determined that unit effective power, referred to mass of wet and dry substance, required to cut material depended on plant species and moisture. The lowest unit effective power was necessary to cut topinambour (2,69 kJ·kg⁻¹). It was also characterised by the lowest dispersion, which allowed to use a tractor of the lowest power stock of an engine. Demand for this kind of power was almost two times higher during cutting spartina pectinata (4,80 kJ·kg⁻¹).

Key words: unit effective power, cutting, energy plants

Adres do korespondencji:

Aleksander Lisowski; e-mail: aleksander_lisowski@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa