

ZAPOTRZEBOWANIE MOCY JEDNOSTKOWEJ DO ROZDRABNIANIA PĘDÓW WIERZBY NA RĘBARCE TOPOROWEJ

Jarosław Frączek, Krzysztof Mudryk, Marek Wróbel

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy procesu rozdrabniania pędów wierzby na rębarkę toporowej. Określono nakłady energetyczne ponoszone na zrębkowanie w zależności od rzeczywistej powierzchni cięcia i sposobu podawania materiału. Badania wykonano metodą, której koncepcja opiera się na pomiarze dwóch strumieni danych zsynchronizowanych w czasie. Pierwszy strumień określa rzeczywistą powierzchnię cięcia materiału, drugi natomiast dotyczy zapotrzebowania mocy na rozdrabnianie. Zarejestrowane w ten sposób dane pozwoliły na określenie zapotrzebowania mocy jednostkowej odniesionej do powierzchni cięcia P_f . Stwierdzono, że nierównomierność podawania materiału zwiększa zapotrzebowania mocy jednostkowej na jego rozdrabnianie.

Słowa kluczowe: nakłady energetyczne, biopaliwa stałe, rozdrabnianie materiałów roślinnych

Wstęp

Pomimo wielu zalet paliw stałych wytwarzanych z biomasy, przeszkodą w ich powszechnym stosowaniu jest niewystarczająca jeszcze konkurencyjność cenowa w stosunku do paliw tradycyjnych. Na cenę tę składają się głównie koszty surowca i jego przetworzenia. Koszty związane z przetwarzaniem są ściśle powiązane z zastosowaną w danym przedsiębiorstwie technologią produkcji. Przy zachowaniu obowiązujących standardów dotyczących jakości paliw (priorytet w produkcji), największe możliwości redukcji kosztów daje optymalizacja związana z nakładami energetycznymi na poszczególnych etapach technologii produkcji [Kubit 2003]. Jednym z najbardziej energochłonnych etapów jest rozdrabnianie biomasy. Badania procesu cięcia statycznego pędów wierzby wykazały, że na energochłonność tego procesu istotny wpływ mają: wilgotność materiału, powierzchnia cięcia oraz długość uzyskiwanego zrębka [Frączek, Mudryk 2006, Frączek, Mudryk 2007]. W praktyce zrębkowanie przebiega w sposób dynamiczny, zatem konieczna jest weryfikacja zaobserwowanych zależności.

Cel

Celem pracy była analiza przebiegu procesu rozdrabniania pędów wierzby pod kątem określenia nakładów energetycznych ponoszonych na ten proces w zależności od rzeczywistej powierzchni cięcia. Badania przeprowadzono na pędach wierzby energetycznej *Salix viminalis* L. zrębkowanych na rębarkę toporowej.

Metodyka i materiał

W pracy wykorzystano autorską metodę, której koncepcja oparta jest na pomiarze zapotrzebowania mocy niezbędnej do przecięcia warstwy materiału. Rejestrowane są równoległe dwa, zsynchronizowane w czasie t_z strumienie danych, tj: obrazy rzeczywistej powierzchni cięcia A oraz zapotrzebowanie mocy P .

Rejestracja tych strumieni pozwoliła w dalszej analizie na określenie rzeczywistej mocy jednostkowej P_j w $W \cdot cm^{-2}$, czyli po odjęciu mocy na biegu jałowym, niezbędnej do przecięcia pędów o powierzchni 1 cm^2 :

$$P_j = P \cdot A^{-1}$$

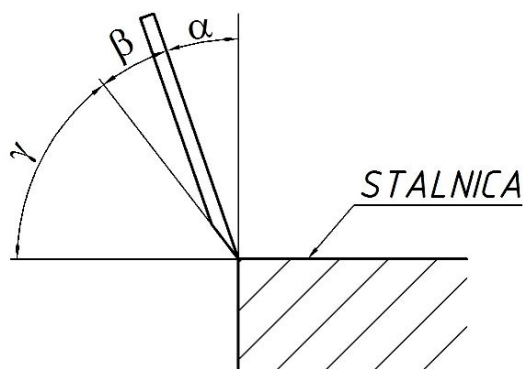
gdzie:

- P – zapotrzebowanie mocy [W],
 A – rzeczywista powierzchnia cięcia [cm^2].

Przebieg pomiaru ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 2.

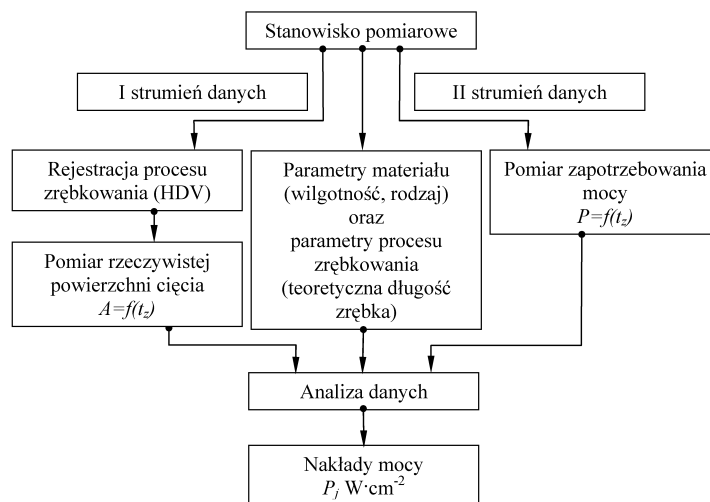
Stanowisko pomiarowe składało się z rębarki toporowej, kamery cyfrowej Sony HDR-SR12 rejestrującej przebieg procesu zrębkowania (I strumień danych) oraz miernika parametrów sieci Lumel N12P rejestrującego zapotrzebowanie mocy (II strumień danych).

Prędkość kątowna cięcia ω wynosiła 4π rad/s, kąt ostrza noża $\beta=19^\circ$, kąt przyłożenia $\alpha=19^\circ$, natomiast kąt natarcia $\gamma=52^\circ$, cięcie z podparciem (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 1. Parametry cięcia, α – kąt przyłożenia, β – kąt ostrza noża, γ – kąt natarcia
 Fig. 1. Cutting parameters, α – clearance angle, β – knife blade angle, γ – rake angle



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 2. Schemat przebiegu pomiaru
Fig. 2. Measurement progress diagram

Materiał badawczy stanowiły zebrane w wiązki pędy wierzby energetycznej o wilgotności 20% i średniej średnicy przy podstawie wynoszącej 2,4 mm. Określono również smukłość pędów, która wg słownika encyklopedycznego [Więcko i in. 1996] jest ilorazem wysokości drzewa i jego pierśnicy, stanowiącym miarę właściwości statycznych drzewa, determinujących stopień wrażliwości na niszczące działanie śniegu (okiść) i wiatru...". W dendrometrii [Bruchwald 1995], również w ten sposób określana jest smukłość drzew, którą Szyber [2005] nazywa smukłością dendrometryczną strzały:

$$S_h = h / (10^{-2} \cdot d_{1,3})$$

gdzie:

- h – wysokość drzewa [m],
- $d_{1,3}$ – pierśnica [cm] (średnica pnia mierzona na wysokości 1,3 m).

Dzięki temu, że pierśnica mierzona jest na wysokości 1,3 m, w obliczeniach pomijany jest odzimek, który u drzew charakteryzuje się dużą zbieżnością, która z kolei fałszowałaby wynik pomiaru smukłości. W przypadku pędów wierzby zbieżność pędu jest jednakowa na całej jego długości, dlatego w pracy smukłość pędów określono jako iloraz ich wysokości do średnicy przy podstawie. Średnia smukłość rozdrabnianych pędów wynosiła 139,58.

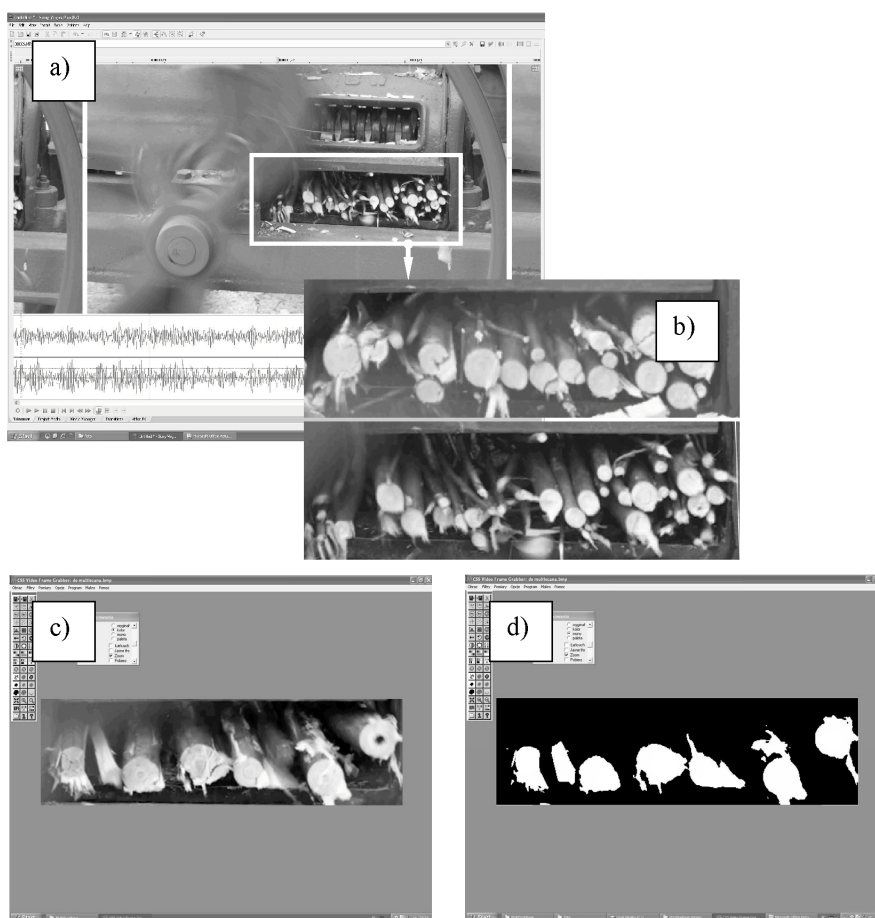
Wiązki modelowe, czyli takie, w których pędy ułożone były równolegle i wyrównane od strony największej średnicy zębkwowano przy różnych sposobach podawania materiału:

I wariant – wiązka modelowa podawana do rębarki od strony największych średnic pędów. Zębkwowanie rozpoczynało się od maksymalnej powierzchni cięcia, która w czasie zębkwowania stopniowo malała,

II wariant – wiązka modelowa podawana do rębarki od strony wierzchołków pędów. Rzeczywista powierzchnia cięcia wzrastała stopniowo w czasie zębkwowania,

III wariant – pędy podawane w sposób ciągły, odzwierciedlający rzeczywiste warunki zębtkowania.

Z zarejestrowanego materiału filmowego o wysokiej rozdzielczości (1920x1080 pikseli), za pomocą aplikacji Sony Vegas Pro8, uzyskano kadry przedstawiające rzeczywiste powierzchnie cięcia (rys. 3a). Zapisano je w formacie JPEG i poddano przetwarzaniu w programie Microsoft Office Picture Manager w celu uzyskania podobrazów przedstawiających rzeczywistą powierzchnię cięcia materiału wypełniającego gardziel rębarki (rys. 3b).



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 3. Przetwarzanie zarejestrowanego materiału filmowego. a – kadr przed obróbką, b – przykładowe podobrazy, c – podobraz wczytany do programu Multiscan v.14.9, d – podobraz po binaryzacji

Fig. 3. Recorded film material processing. a – frame before processing, b – sample subpictures, c – subpicture read-in to the Multiscan v.14.9 application, d – subpicture after decimal-to-binary conversion

Uzyskane podobrazy przetworzona oraz przeanalizowano cyfrowo w celu pomiaru rzeczywistej powierzchni cięcia. Zgromadzone dane przetworzono za pomocą programu Multiscan v.14.9 firmy Computer Scanning Systems. Zestaw operacji przetwarzających, wg kolejności stosowania był następujący:

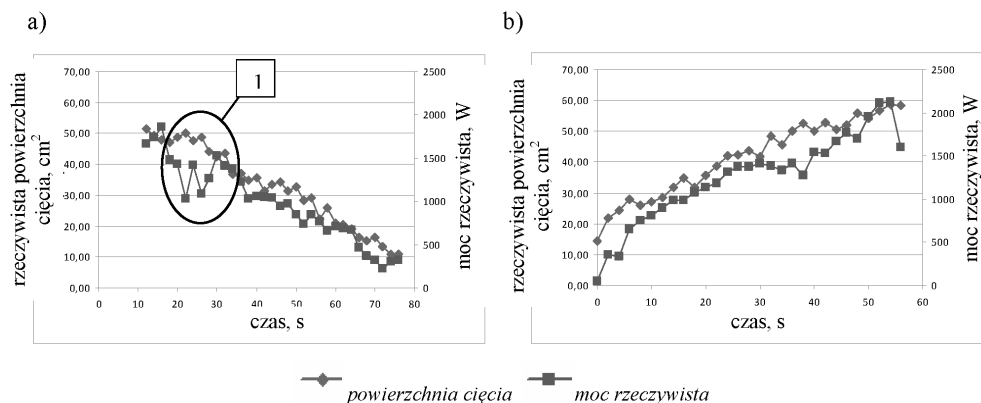
- binaryzacja – poziom binaryzacji był stały dla wszystkich przetwarzanych podobrazów, a po jej zastosowaniu na analizowanych obrazach pozostały białe obiekty (powierzchnia cięcia) na czarnym tle, jednoznacznie identyfikowane przez program jako obiekty do pomiarów (rys. 3d),
- automatyczne wyszukiwanie obiektów – parametry wyszukiwania ustawiono tak, aby program zaznaczał tylko obiekty białe mające co najmniej 0,2 cm długości. Pozwoliło to uniknąć zaznaczania drobnych punktów będących pozostałościami szumów.

Po odpowiednim doborze skali pomiarowej (wskazanie dwóch punktów na obrazie z podziałką i przypisanie im jednostki odległości), algorytm programu automatycznie mierzył powierzchnię wszystkich wyszukanych obiektów na obrazie, a wyniki w postaci raportu zapisywane były w pamięci komputera i posłużyły do dalszej analizy.

Wyniki badań

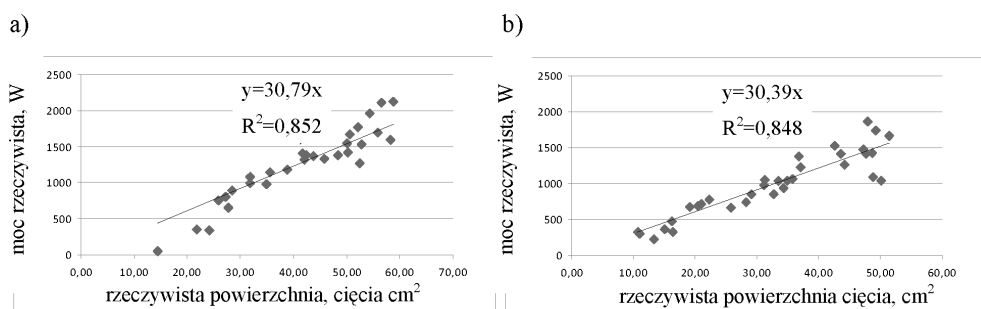
Przebieg zmian zapotrzebowania mocy rzeczywistej, czyli po odjęciu mocy na biegu jałowym i rzeczywistej powierzchni cięcia w czasie, przedstawiono na wykresach na rysunku 4. Jak można zauważyć, w obu przypadkach, wraz ze wzrostem przecinanej powierzchni zapotrzebowanie mocy rzeczywistej wzrasta. Zaobserwowano, że w pierwszym wariancie zrębkowania, wykresy przebiegu mocy rzeczywistej i powierzchni cięcia nie są ze sobą zsynchronizowane w całym rejestrowanym przedziale czasu (rys. 4a). To przesunięcie wykresów spowodowane jest najprawdopodobniej bezwładnością koła, na którym umieszczone są noże tnące. Zaobserwować można (zaznaczenie 1 rys. 4a), że wykres przebiegu mocy rzeczywistej nie nadąża za zmianami rejestrowanej powierzchni cięcia. Zgromadzony podczas rozbiegania maszyny zapas energii powoduje, że pomimo wzrostu rzeczywistej powierzchni cięcia, rejestrowane zapotrzebowanie mocy na jej przecięcie spada. Podobnych rozbieżności nie zaobserwowano w drugim wariancie podawania wiązki (rys. 4b). Tłumaczyć to można stopniowym wzrostem rzeczywistej powierzchni cięcia, przy którym wpływ bezwładności na rejestrowane zapotrzebowanie mocy rzeczywistej jest nieistotny.

Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono wykresy zmian zapotrzebowania mocy rzeczywistej w zależności od rzeczywistej powierzchni cięcia, które przedstawiono na rysunku 5a i b. Wykonano również aproksymację liniową. W obu przypadkach uzyskano wysokie współczynniki dopasowania R^2 (około 0,85). Współczynnik kierunkowy uzyskanych modeli odpowiada mocy jednostkowej P_j i przyjmuje wartości 30,79 i 30,39 $W \cdot cm^{-2}$.



Źródło: opracowanie własne autorów

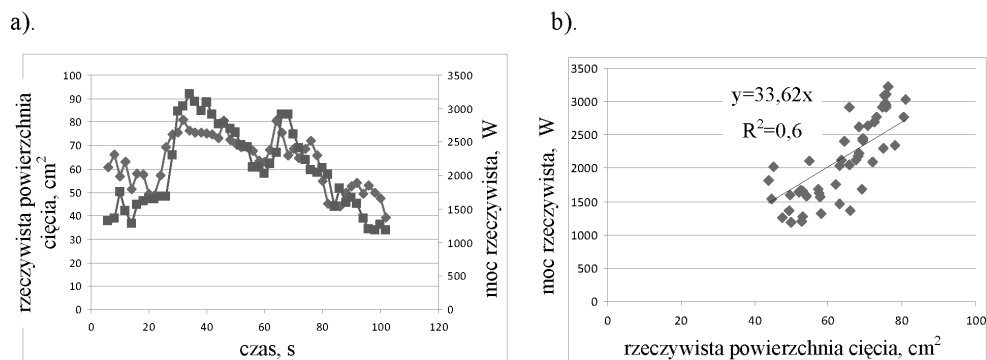
Rys. 4. Przebieg zmian zapotrzebowania mocy rzeczywistej i rzeczywistej powierzchni cięcia: a – I wariant, b – II wariant
 Fig. 4. Progress of changes in actual power demand and actual cut surface. a – variant I, b – variant II (Source: Authors' own study)



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 5. Zapotrzebowanie mocy w zależności od rzeczywistej powierzchni cięcia. a – I wariant, b – II wariant
 Fig. 5. Power demand depending on actual cut surface. a – variant I, b – variant II

Dla zweryfikowania uzyskanych wyników przeprowadzono zrębkowanie wg III wariantu. Uzyskane wyniki przedstawiono na wykresach (rys. 6a i b). Nierównomierności strumienia materiału oraz bezwładność elementów roboczych powodują, że wykresy mocy i rzeczywistej powierzchni cięcia nie są ze sobą w pełni zsynchronizowane w całym rejestrowanym przedziale czasu (rys. 6a). Znajduje to swoje odbicie w uzyskanym modelu liniowym (rys. 6b). Współczynnik dopasowania R^2 jest znacznie niższy niż w przypadku I i II wariantu i wynosi 0,6, natomiast współczynnik kierunkowy wynosi $33,62 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$.



Źródło: opracowanie własne autorów

Rys. 6. Zrębkowanie wg III wariantu. a - wykres zapotrzebowania mocy w zależności od rzeczywistej powierzchni cięcia, b - przebieg zmian zapotrzebowania mocy i rzeczywistej powierzchni cięcia

Fig. 6. Chipping according to variant III. a – diagram of power demand depending on actual cut surface, b - progress of changes in power demand and actual cut surface

Dodatkowo, na podstawie danych pomiarowych, obliczono wartości mocy jednostkowej oraz odchyłeń standardowych, które wraz z wartościami P_j uzyskanymi z modeli liniowych zestawiono w tabeli 1. Dla danego wariantu sposobu podawania materiału, moc jednostkowa określona jako współczynnik kierunkowy dopasowanych funkcji oraz moc obliczona, przyjmuje wartości zbliżone (por. tab. 1). Wyraźne różnice występują w wartościach odchyłeń standardowych SD , które określają wielkość wahań mocy przy danym wariancie zrębkowania. W wariancie II, w którym rzeczywista powierzchnia cięcia stopniowo narastała, uzyskano najmniejszą wartość odchylenia standardowego SD ($3,3 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Tabela 1. Wartości mocy jednostkowej P_j oraz odchyłeń standardowych [$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$]
Table 1. Values of unit power P_j and standard deviations in [$\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$]

Sposób podawania pędów	Współczynnik kierunkowy modelu liniowego	Średnia z pomiarów	Odchylenie standardowe
I wariant	30,79	30,86	5,25
II wariant	30,39	29,80	3,30
III wariant	33,62	31,76	8,29

Źródło: obliczenia własne autorów

Zrębkowanie wg wariantu I spowodowało zwiększenie wartości odchylenia standardowego SD ($5,25 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$). Największą wartość SD uzyskano natomiast dla wariantu III ($8,29 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$). Zatem wzrost nierównomierności podawania materiału powoduje wzrost zapotrzebowania mocy. Maksymalna wartość P_j wynosi $31,76 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ i uzyskana została dla wariantu III, w którym nierównomierność podawania była największa, natomiast moc

minimalna wynosi $29,8 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$ i uzyskano ją przy wariancie II w którym powierzchnia cięcia równomiernie wzrasta.

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały liniową zależność zapotrzebowania mocy niezbędnej do przecięcia materiału od rzeczywistej powierzchni cięcia.
2. Podstawowym parametrem oceny przebiegu procesu cięcia, może być wartość mocy jednostkowej P_j określona jako moc niezbędna do przecięcia pędów o powierzchni 1 cm^2 .
3. Stwierdzono, iż moc jednostkowa zależy w głównej mierze od sposobu podawania materiału. Zwiększenie nierównomierności podawania powoduje zwiększenie zapotrzebowania mocy i rozrzutu uzyskanych wyników.

Bibliografia

- Bruchwald A.** 1995. Dendrometria, Wyd. SGGW, Warszawa. ISBN: 83-00-02889-7.
- Frączek J., Mudryk K.** 2006. Metoda określenia oporów cięcia pędów wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88). s. 91-98.
- Frączek J., Mudryk K.** 2007. Metoda pomiaru energochłonności procesu zrębkowania wierzby. Inżynieria Rolnicza. Nr 7(95). s. 47-53.
- Kubit B.** 2003. Stan normalizacji w zakresie biopaliw stałych – procesy opracowywania norm. Polski Komitet Normalizacyjny. Materiały konferencyjne „Badania właściwości i standaryzacji biopaliw stałych” Warszawa.
- Szyber J.** 2005. Wpływ niektórych czynników na wyboczenie sosny. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(62). s. 153-162.
- Więcko E.** i in. 1996. Słownik encyklopedyczny leśnictwa, drzewnictwa, ochrony środowiska, łowiectwa, Wyd. SGGW, Warszawa. ISBN 83-00-028525-0.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt badawczy nr N N313 153935

UNIT POWER DEMAND FOR WILLOW SPROUT SHREDDING IN A FLYWHEEL CUTTER

Abstract. The article presents analysis results for willow sprout shredding process carried out using a flywheel cutter. The research allowed to determine energy expenditures for chipping depending on the actual cut surface and material feed method. The tests were performed using a method based on measuring two data streams synchronised in time. The first stream determines the actual material cut surface, while the other applies to power demand for shredding. Data registered in this way allowed to determine unit power demand referred to the cut surface P_j . It has been observed that a material feed irregularity increases unit power demand for its shredding.

Key words: energy expenditures, solid biofuels, shredding of plant materials

Adres do korespondencji:

Jarosław Frączek; e-mail: Jaroslaw.Fraczek@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków