

METODA POMIARU ENERGOCHŁONNOŚCI PROCESU ZRĘBKOWANIA PĘDÓW WIERZBY

Jarosław Frączek, Krzysztof Mudryk

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza w Krakowie

Streszczenie. W celu odpowiedniego zaprojektowania przedsięwzięć związanych z uprawą wierzby oraz systemów przetwarzania zebranego plonu należy podjąć badania obejmujące nie tylko zagadnienia związane z właściwościami chemiczno-cieplnymi, ale również z właściwościami mechanicznymi. W szczególności chodzi tu o opory cięcia, które determinują procesy cięcia i rozdrabniania. Do tej pory brak jest opracowań uwzględniających określenie tego czynnika oraz energochłonności rozdrabniania pędów wierzby energetycznej. W związku z powyższym, celem prezentowanej pracy było opracowanie metody oceny energochłonności procesu rozdrabniania pędów wierzby. Zakres pracy obejmował projekt rębarki oraz ustalenie sposobu pomiaru parametrów roboczych. Przedstawiona metodyka badań procesu zrębkowania pozwoli na określenie energochłonności na poszczególnych jego etapach. Uzyskane wyniki powinny dostarczyć cennych informacji dla konstruktorów oraz operatorów maszyn rozdrabniających biomasę.

Słowa kluczowe: wierzba, energochłonność zrębkowania, zrębki

Wstęp

W warunkach polskich najłatwiejszą do pozyskania i najbardziej efektywną ekonomicznie jest energia z biomasy. Biomasa określa się jako masę materii organicznej, zawartą w organizmach zwierzęcych lub roślinnych. Można więc do niej zaliczyć między innymi: drewno, słomę, makulaturę, komunalne odpady i osady ściekowe, odpady rolniczo-hodowlane itp. [Kotowski 2004]. Biomasa jest w Polsce – podobnie jak w innych krajach europejskich źródłem energii odnawialnej wykorzystywanym w stopniu największym [Biomasa i energie przyjazne człowiekowi 2004].

Najpoważniejszym źródłem biomasy są odpady drzewne i słoma. Uwzględniając obecne zasoby drewna opałowego i odpadów drzewnych - z leśnictwa, sadownictwa, przemysłu drzewnego oraz miejskich terenów zielonych, potencjał techniczny energii w nich zawartej szacuje się na 270 PJ (10^{15} J) rocznie. Wartość tę można by podnieść wykorzystując pod uprawę tzw. roślin energetycznych tereny wyłączone z produkcji rolniczej [Biomasa i energie przyjazne środowisku 2004, Szlachta 2006]. Pożądane cechy roślin uprawianych na cele energetyczne to przede wszystkim: duży przyrost roczny, wysoka wartość opałowa, znaczna odporność na choroby i szkodniki. Ponadto, rośliny te powinny charakteryzować się stosunkowo niewielkimi wymaganiami glebowymi.

W ostatnim czasie obserwuje się duże zainteresowanie uprawą wierzby energetycznej. Jest to krzewiasta forma wierzby z rodziny *Salix viminalis*. Gatunek ten i jego liczne mieszańce wyselekcjonowane jako formy szybko rosnące, o wysokim potencjale produkcyjnym biomasy, doskonale nadają się do wykorzystania energetycznego i przemysłowego. W oparciu o liczne badania wierzbę wiciową (*Salix viminalis*) kwalifikuje się jako bardzo dobre, wieloletnie źródło energii odnawialnej [Szczukowski i in. 2001].

W celu odpowiedniego zaprojektowania przedsięwzięć związanych z uprawą wierzby oraz systemów przetwarzania zebranego plonu należy podjąć badania dotyczące nie tylko właściwości chemiczno-ciepłych, ale również mechanicznych [Szczukowski i in. 2001; Jeżowski 2001]. W szczególności chodzi o opory cięcia i inne właściwości mechaniczne, które determinują procesy cięcia i rozdrabniania.

Bezpośrednim elementem roboczym w procesie cięcia, oddziaływującym na roślinę jest nóż. Parametry jego pracy mają wpływ na wielkość oporów roboczych maszyn i jakość cięcia [Kowalski 1993]. Wyniki dotychczasowych badań wykazują, że oprócz czynników technicznych (kąt ustawienia noża, prędkość cięcia) [Miszczuk, Popko 1989] na opory cięcia mają również wpływ czynniki biologiczne materiału (cechy odmianowe) oraz warunki przechowywania/sezonowania roślin [Szot, Kęsik 1987].

Cel i zakres pracy

Przegląd literatury wykazał, iż pomimo dużego zainteresowania właściwościami wierzby, brak jest informacji dotyczących oporów cięcia pędów wierzby jak również energochłonności tego procesu.

W związku z powyższym, celem prezentowanych badań było opracowanie metody oceny energochłonności procesu rozdrabniania pędów wierzby.

Zakres pracy obejmował:

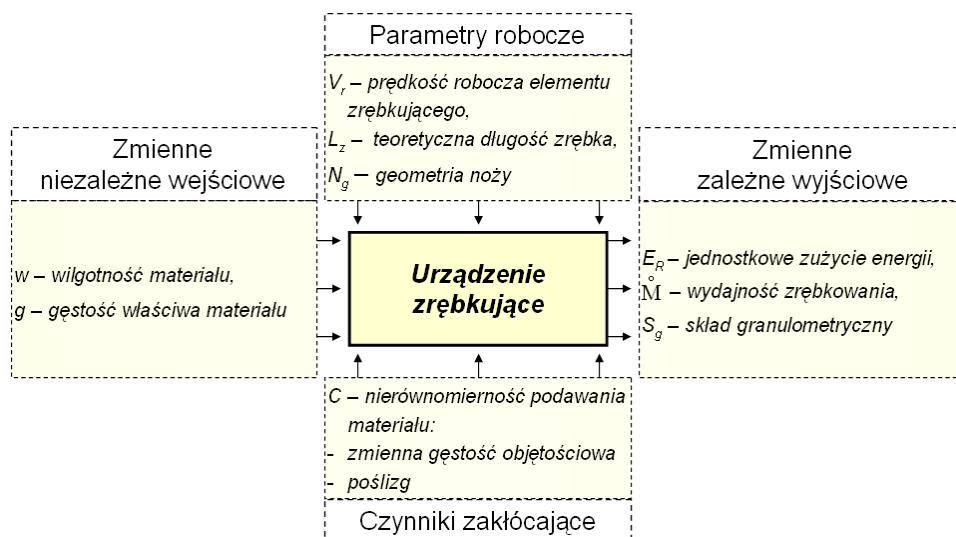
- ustalenie koncepcji pracy rębarki,
- ustalenie sposobu pomiaru parametrów roboczych,
- wykonanie stanowiska oraz badania wstępne.

Analiza procesu zrebkowania

Do cięcia biomasy na cele energetyczne stosuje się rozdrabniacze wyposażone w ślimakowy, tarczowy lub bębnowy system cięcia. Badania prowadzone w USA wykazały, że do zrebkowania pędów wierzby (oceniano między innymi skład granulometryczny uzyskiwanych zrebków) najbardziej nadaje się system bębnowy [Forest Research 1998]. W porównaniu z pozostałymi umożliwia on łatwiejszą regulację długości zrebków, a uzyskana rozdrobniona masa charakteryzuje się największą jednorodnością wymiarową cząstek. Skład granulometryczny zrebków zaliczany jest do ważniejszych czynników oceny ich jakości. Długość zrebka decyduje bowiem o możliwości stosowania tego paliwa w systemach zautomatyzowanych. Zbyt długie cząstki powodują utrudnienia, a nawet uniemożliwiają pracę przenośników powodując ich zapychanie.

W związku z powyższym w projektowanej rębarence zastosowano bębnowy system tnący. Na wstępie określono strukturę modelu zrebkowania z uwzględnieniem parametrów

wpływających i opisujących ten proces (rys. 1). Parametry te można podzielić na te, które dotyczą materiału rozdrabnianego oraz te, które dotyczą przebiegu procesu rozdrabniania. Z właściwości materiału najistotniejszymi w aspekcie właściwości mechanicznych jest wilgotność oraz gęstość właściwa. Natomiast do parametrów pracy urządzenia, które wpływają na ten proces można jak zaliczyć prędkość ostrzy noża, długość zębrowania oraz geometrię ostrza noża. Dodatkowo należy uwzględnić wpływ czynników zakłócających proces rozdrabniania, takich jak poślizg układu podającego oraz zmienna gęstość objętościowa materiału. Natomiast wielkościami umożliwiającymi dokonanie oceny procesu rozdrabniania jest jednostkowe zużycie energii oraz wydajność urządzenia.

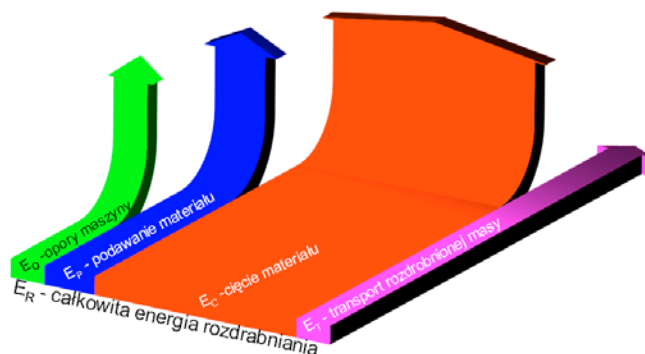


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Model procesu zębrowania
Fig. 1. Model of the chipping process

Rębarka i układ pomiarowy

Jednym z najważniejszych czynników w optymalizacji procesów przetwarzania materiałów roślinnych jest energochłonność procesu (jednostkowe zużycie energii). Analizując procesy rozdrabniania, strumień energii można rozdzielić na cztery składowe: energię traconą na pokonanie oporów własnych maszyny, energię ponoszoną na podawanie materiału, energię cięcia materiału oraz energię transportu materiału rozdrobnionego (rys. 2).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Strumienie energii w procesie rozdrabniania

Fig. 2. Streams of energy in the grinding process

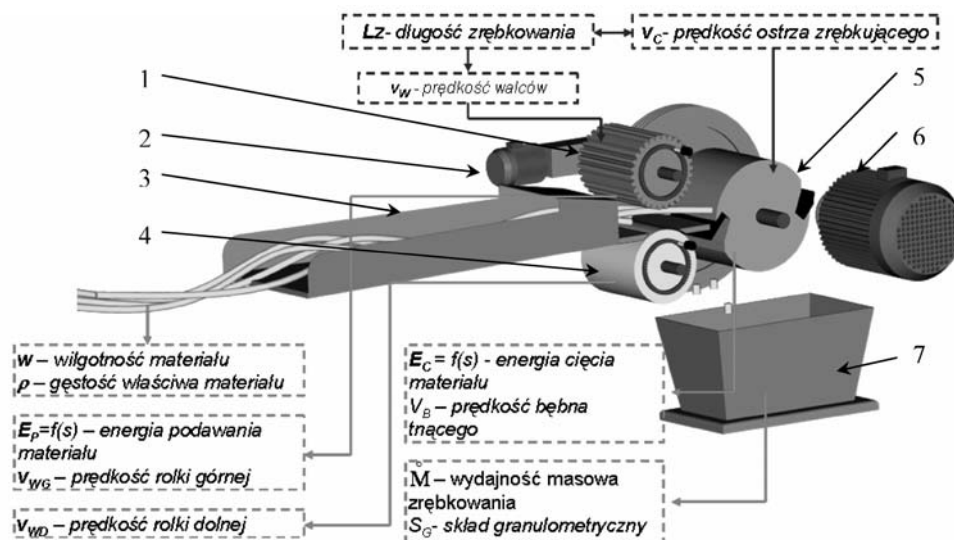
W wielu maszynach do rozdrabniania system transportowy masy rozdrobnionej stanowi dodatkowy, zewnętrzny system, który ma za zadanie zintegrować rębarkę z innymi elementami linii technologicznej oddalonych nawet o kilkanaście metrów. W związku z tym, w projektowanej rębarkie zaproponowano grawitacyjny system odbioru zrębków.

Uwzględniając konieczność określenia składowych bilansu energetycznego oraz opisu wpływu właściwości materiału, parametrów roboczych maszyny oraz innych czynników na składowe bilansu określono następujące założenia projektowe dla maszyny:

- a) możliwość zmiany:
 - prędkości elementu zrębkującego $14\text{--}20\text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$,
 - długości zrębkowania $10\text{--}40\text{ [mm]}$,
 - geometrii noży zrębkujących (kąt ostrza noża) $32\text{--}38\text{ [}^\circ]$;
- b) możliwość pomiaru:
 - całkowitej energii rozdrabniania,
 - energii ponoszonej na podawanie materiału,
 - energii cięcia materiału,
 - energii ponoszonej na pokonanie oporów własnych maszyny,
 - prędkości walców podających,
 - wydajności masowej rębarki.

Zgodnie z powyższymi założeniami opracowano koncepcję rębarki z oznaczeniem miejsc pomiarowych, którą przedstawiono na rys. 3.

Jak już wspomniano projektowana maszyna wyposażona jest w bębnowy system tnący z grawitacyjnym systemem transportu zrębków. Układ podający składa się z rynny biernej, na końcu wyposażonej w dwie rolki podające. Górna rolka napędzana jest motoreduktorem, w którym silnik elektryczny sterowany jest falownikiem, umożliwiając w ten sposób uzyskanie zmiennej prędkości podawania materiału. Natomiast rolka dolna jest rolką bierną podtrzymującą, minimalizującą tarcie o pędów o rynnę. Układ zrębkujący napędzany jest 11 kW silnikiem elektrycznym przez przekładnię pasową o dwóch przełożeniach. Zapewnia to stabilną pracę rębarki.



Źródło: opracowanie własne

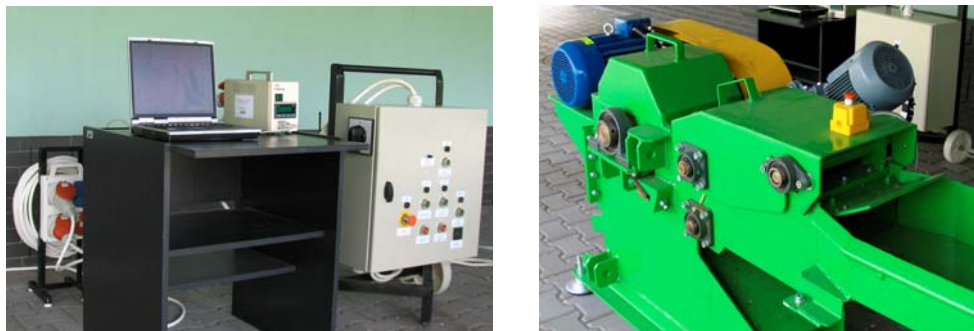
- Rys. 3. Koncepcja rębarki z oznaczonymi miejscami pomiarowymi: 1 - rolka podająca czynna, 2 - motoreduktor do napędu rolki, 3 - rynna podajnika, 4 - rolka podająca bierna, 5 - bęben zębujący, 6 - silnik główny bębna zębującego, 7 - pojemnik na zębki z układem wagowym
- Fig. 3. Conception of the splitter with marked measuring places: 1 - giving active roll, 2 - motoreducer to drive the roll, 3 - gutter of the feeder, 4 - giving passive roll, 5 - chipping drum, 6 - main engine of the chipping drum, 7 - container for the chips with the scaling system

Dzięki temu, że zastosowano dwa silniki elektryczne - oddzielnie do napędu zespołu podającego oraz zębującego - możliwe jest wykonanie dokładnych pomiarów energii podawania i zębienia przy wykorzystaniu miernika energii elektrycznej zintegrowanego z komputerem (rys. 4).

W celu wykrycia i opisanego zakłóceń w układzie podającym (poślizgi) zastosowano układ pomiaru prędkości rolek podających. Przy założeniu, że rolka bierna (dolna) posiada taką samą prędkość jak podawany materiał, różnica w prędkości rolek (czynnej i biernej) pozwoli na określenie poślizgu podajnika.

Długość zębienia regulowana jest w przedziale 15 do 40 mm poprzez odpowiednie ustawienie prędkości podajnika pędów oraz bębna zębującego. Dodatkowo w celu określenia wydajności, rębarka wyposażona jest w pojemnik na zębki usytuowany na wadze elektronicznej.

Zaprojektowana rębarka została wykonana i znajduje się na wyposażeniu Laboratoriów Katedry Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki (rys. 4).



Rys. 4. Widok wykonanej rębarki wraz układem pomiarowym
 Fig. 4. Picture of the splitter with measuring system

Podsumowanie

Zaprezentowane stanowisko badawcze pozwoli na określenie energochłonności procesu rozdrabniania na poszczególnych jego etapach. W rębance wykorzystano bębnowy system tnący, który zapewnia uzyskanie zrębków najlepszej jakości.

Dzięki zastosowanym układom pomiarowym możliwe jest określenie między innymi:

- zmiany energii cięcia w trakcie procesu na podstawie przebiegów czasowych w postaci wykresów $E_C = f(t)$.
- energii ciecicia obliczonej jako różnica pomiędzy całkowitą energią rozdrabniania (E_R) a energią na pokonanie oporów własnych maszyny (E_O) i energią ponoszoną na podawanie materiału (E_P),
- wydajności masowej rębarki w trakcie procesu rozdrabniania, $\dot{M} = f(t)$,
- wartości energii jednostkowej cięcia definiowanej jako ilość energii niezbędnej do uzyskania 1 kg zrębków o określonej długości $E_{JC} = E_C / \dot{M}$.

Uzyskane wyniki badań powinny dostarczyć cennych informacji dla konstruktorów oraz eksploatorów maszyn rozdrabniających biomasę. Powinny też umożliwić optymalizację procesu zrębkowania pod kątem uzyskania wysokiej jakości zrębków przy minimalnym nakładzie energetycznym.

Prezentowane urządzenie pozwoli też na prowadzenie badań związanych z procesem rozdrabniania innych materiałów roślinnych cechujących się właściwościami fizycznymi podobnymi do pędów wierzby.

Bibliografia

- Jeżowski S. 2001. Rośliny energetyczne – ogólna charakterystyka, uwarunkowanie fizjologiczne i znaczenie w produkcji paliwa. Post. Nauk Rol. Nr 2, s. 19-27.
 Kotowski W. 2004. Biomasa na marginesie, Energia Gigawat – 03. 2004.

- Kowalski S.** 1993. Badania oporów cięcia wybranych roślin. Zeszyt. Prob. Post. Nauk Rol. 408, 297-303.
- Popko H., Miszczuk M.** 1989. Badania oporów krajania niektórych produktów spożywczych. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 354.
- Szlachta J.** 2006. Zasoby biomasy, zapotrzebowanie na biomasę energetyki zawodowej, transportu oraz perspektywy przyszłego lokalnego rynku energii odnawialnej. V Dni Oszczędzania Energii 14-17.11.2006r. <http://cieplej.pl/prezentacje/doe2006/>
- Szot B., Kęsik T., Gołacki K.** 1987. Badania zmienności właściwości mechanicznych korzeni marchwi w zależności od cech odmianowych, czynników agrotechnicznych i okresu przechowywania. Zeszyt. Prob. Post. Nauk Rol. 316, s. 227-246.
- Materiały z Konferencji „Biomasa i energie przyjazne środowisku”. 2004. Zespół Szkół Agroekonomicznych, Karolewo.
- Woodfuel chipping: field trials. Technical Note 9/98 s.1-12. Forest Research.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr N310 007 31/0846, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

THE METHOD OF ENERGY CONSUMPTION MEASUREMENT IN THE PROCESS OF WILLOW SPROUTS CHIPPING

Summary. In order to design undertakings connected with willow cultivation and crops processing systems in the appropriate way, it is necessary to conduct researches which cover not only the issues referring to chemical and thermal properties, but also to mechanical features. In particular, it deals with cutting resistances which determine cutting and grinding processes. There has been a shortage of works that designate this factor and energy consumption of the energy willow sprouts chipping. Hence, the aim of this work was to work out the method that would estimate energy consumptions during chipping the willow sprouts. The scope of the work included a plan of a splitter and establishing the way of the working parameters measurement. Presented methodology of the research on the chipping will allow to determine the energy consumption on particular stages. Data that has been obtained should provide valuable information for designers and exploiters of machines that grind biomass.

Key words: willow, energy consumption of chipping, chips

Adres do korespondencji:

Jarosław Fraczek, e-mail: fraczek@ar.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków