

WPLYW CECH KONSTRUKCYJNYCH ROZDRABNIACZA TARCZOWEGO NA JAKOŚĆ PROCESU ROZDRABNIANIA

M. Opielak, A. Tomporowski

Katedra Maszyn Przemysłu Spożywczego, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

Streszczenie. W opracowaniu poddano analizie wpływ cech konstrukcyjnych rozdrabniacza tarczowego typu rębak na jakość procesu rozdrabniania drewna. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na maszynie wytrzymałościowej (quasi ścinanie) oraz w warunkach produkcyjnych na rozdrabniaczu DVUA-76 wyprodukowanym przez firmę Koller & Bowenecamp w Żninie.

Słowa kluczowe: rozdrabnianie, jakość procesu, rozdrabniacz tarczowy, cechy konstrukcyjne.

WPROWADZENIE

W literaturze dostępne są opracowania na temat funkcjonalności i badań rozdrabniaczy rębakowych do drewna, jednakże brak jest wyczerpujących badań wpływu cech konstrukcyjnych zespołu rozdrabniającego na równomierność, sprawność i jakość procesu rozdrabniania. W projektowaniu stanów równomierności i sprawności działania rozdrabniacza należy rozwiązać zagadnienie następstw chwilowych i długotrwałych zmian prędkości, momentu obrotowego z jednoczesnym uwzględnieniem właściwości rozdrabnianego surowca a w konsekwencji zmian zapotrzebowania mocy na rozdrabnianie i ich wpływu na jakość realizowanego procesu. W budowie i eksploatacji maszyn spożywczych należy rozpatrywać jednoczesny wpływ zarówno konstrukcji maszyny jak też zmiennych właściwości przetwarzanych surowców na jakość procesu [1,2,3,4].

METODYKA BADAŃ

Model jakości procesu rozdrabniania

Zapotrzebowanie mocy do napędu noża jest bardzo nierównomierne, gdyż między cięciem kolejnych kawałków występuje pewien okres biegu jałowego maszyny. Mogą zaistnieć więc często duże różnice w poborze mocy. Dla zmniejszenia wahań poboru mocy należy skumulować energię, którą uzyskuje się w czasie biegu jałowego. Rolę urządzenia akumulującego energię może spełniać tarcza nożowa.

Zmienna różnica momentu czynnego i momentu sił napędowych jest przyczyną zmian prędkości kątowej wału rozdrabniacza. Przez moment czynny M_{cz} rozumiemy moment występujący podczas cięcia. Natomiast momentem sił napędowych M_{sn} nazywamy moment pobierany od silnika elektrycznego. Jeśli wał wykonuje n 1/min, to średnia prędkość kątowa równa prędkości nominalnej. W przybliżeniu przyjmuje się [1-3, 7-8], że średnia prędkość kątowa wynosi:

$$\omega_{sr} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2} \quad (1)$$

Jakość procesu opisuje kinematyczny współczynnik nierównomierności biegu maszyny [8]

$$\delta_k = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\omega_{sr}} \quad (2)$$

Uwzględniając w równaniu (2) zależność (1) i przekształcając otrzymujemy

$$\omega_{max} = \omega_{sr} \left(1 + \frac{\delta_k}{2} \right), \quad \omega_{min} = \omega_{sr} \left(1 - \frac{\delta_k}{2} \right) \quad (3)$$

Wielkość oddawanej lub pobieranej przez koło zamachowe energii L , która jest różnicą pracy rzeczywiście wykonywanej podczas cięcia L_{cz} i pracy wykonywanej przez silnik napędowy L_{sn} [2], można przedstawić równaniem

$$\Delta L = L_{cz} - L_{sn} = \frac{B_{mk} (\omega_{max}^2 - \omega_{min}^2)}{2} \quad (4)$$

gdzie B_{mk} jest momentem bezwładności maszyny wraz z kołem zamachowym:

$$B_{mk} = B_{mz} + B_k \quad (5)$$

a B_{mz} - moment bezwładności maszyny zredukowany na wał roboczy.

Ponieważ moment bezwładności elementów tnących jest pomijalnie mały w stosunku do momentu koła zamachowego otrzymujemy

$$B_k = \frac{\Delta L}{\omega_{sr}^2 \delta_k} \quad (6)$$

Otrzymujemy koło zamachowe nieco większe, a przez to korzystniejszy stopień nierównomierności biegu maszyny.

Drugim wskaźnikiem jakości procesu jest pobór mocy i jednostkowe zużycie energii.

Silnik napędowy jest dobierany dla średnich warunków pracy cięcia. Przez warunki średnie, rozumiemy quasi-ściananie kawałków o średnicy średniej d_{osr} oraz przy współczynniku zasilania φ uwzględniającym przerwy w podawaniu kawałków. Rzeczywisty pobór mocy w chwili quasi-ścianania surowców, materiałów drewnianych jest większy [2,3,6,8,9]

$$N_s = \frac{E}{t_o} \quad (7)$$

Energię zużytą na ścięcie kawałka drewna o średnicy d_{osr} i długości L można obliczyć przyjmując wskaźnik jednostkowego zużycia energii na 1 m^3 surowca e'

$$E = \frac{\pi d_{osr}^2}{4} \cdot L \cdot e' \quad [\text{MJ}] \quad (8)$$

Czas cięcia

$$t_o = \frac{L \cdot 10^3}{60 \cdot n \cdot z \cdot l_{zr}} \quad [\text{h}] \quad (9)$$

Rzeczywisty pobór mocy w chwili cięcia surowców o średnicy d_{osr} obliczymy jako

$$N_s = \frac{60 \pi d_{osr}^2 \cdot e' \cdot z \cdot l_{zr} \cdot n}{14,4 \cdot 10^3} \quad [\text{kW}] \quad (10)$$

Koło zamachowe w czasie biegu jałowego t_B akumuluje energię. Na skutek tego pobór mocy przez silnik elektryczny utrzymuje się na „stałym” poziomie, równym N_s , co umożliwia prawidłową eksploatację silnika.

Zatem praca wynosi

$$\Delta L = (N_s - N_s) \cdot t_o \quad [\text{kW} \cdot \text{s}] \quad (11)$$

Podstawiając otrzymujemy

$$B_k = \frac{9,35 \cdot 10^4 (N_s - N_s) \cdot t_o}{n^2 \cdot \delta_k} \quad [\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2] \quad (12)$$

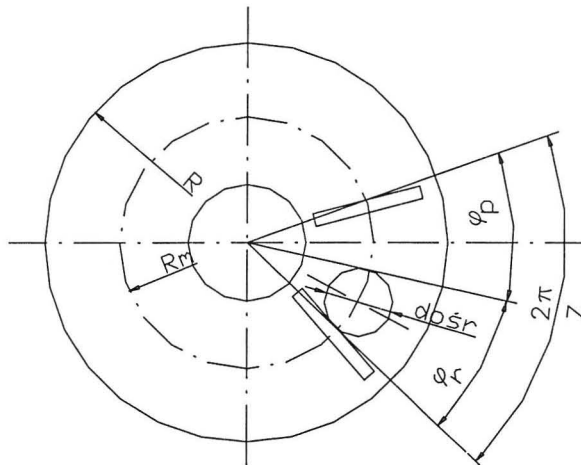
Przy dokładnej analizie momentu zamachowego potrzebnego w procesie quasi-ścinania należy uwzględnić dodatkowo jeszcze okresy biegu jałowego podczas quasi-ścinania jednego kawałka.

Jeżeli odległość między krawędziami noży jest większa od średnicy wałka $d_{ośr}$, to między pracą dwóch kolejnych noży istnieje pewien okres przerwy (określony kątem φ_p na Rys. 1), w czasie którego odbywa się bieg luzem. Proces quasi-ścinania ma miejsce na drodze kątowej

$$\varphi_r = \frac{d_{ośr}}{R_m} \quad (13)$$

Natomiast bieg luzem odbywa się na drodze kątowej

$$\varphi_p = \frac{2\pi}{z} - \varphi_r = \frac{2\pi}{z} - \frac{d_{ośr}}{R_m} \quad (14)$$



Rys. 1. Schemat usytuowania wsadu względem krawędzi noży.

Fig. 1. Scheme of wood charge location according to knives edges.

Ze względu na małą wartość φ_p wahania w zużyciu energii wywołane omówionymi zjawiskami będą bardzo małe.

Dla potrzeb szczegółowej analizy wygodniej stosować zależność na dynamiczny współczynnik nierównomierności który może być wykorzystany w procedurze pomiarowej

$$\delta_d = \frac{A\Delta l_{\max} - A\Delta l_{\min}}{(M_c)_{sr}} = \frac{A(\Delta l_{\max} - \Delta l_{\min})}{(M_c)_{sr}} \quad (15),$$

która może być wykorzystana w procedurze pomiarowej. Stopień nierównomierności dynamicznej, mierzony dla chwilowych ustawień nożowego zespołu rozdrabniającego, określany jest w oparciu o pomiary chwilowej długości ciecia Δl_i – z wyznaczeniem ekstremów; oraz chwilowego momentu obrotowego M_i i wyznaczeniem średniej.

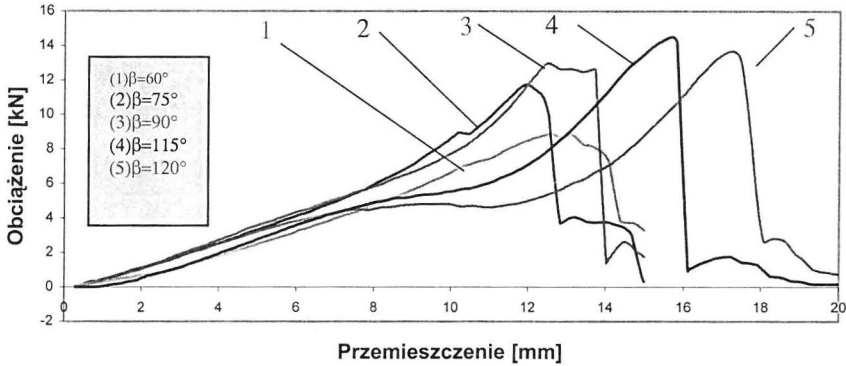
W warunkach badawczych wyznacza się również wartość stałej A, dla określonej programem badawczym konstrukcji zespołu wielokrawędziowego, wybranego rodzaju tworzywa surowca oraz parametrów procesu dezintegracji.

Z badań [2,9] wynika, że moment zamachowy potrzebny w tym przypadku jest kilkadziesiąt razy mniejszy, niż ma tarcza robocza. Obliczone uprzednio koło zamachowe w zupełności więc wystarczy dla zapewnienia stabilności biegu.

Badania w warunkach laboratoryjnych

Przeprowadzono badania ścinania drewna w przyrządzie quasi-ścinającym na maszynie wytrzymałościowej. Ścinaniu poddano losowo wybrane próbki następujących gatunków drewna: buk, brzoza, sosna o różnych wilgotnościach. Badania przeprowadzane dla następujących kątów ostrza 60°, 75°, 90°, 105° i 120°.

Wykres sił quasi-ścinających dla brzozy w funkcji przemieszczenia listwy tnącej o różnych wartościach kąta ostrza przedstawiono na Rys. 2, a wyniki badań dla sosny, buku i brzozy przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 2. Wykres sił quasi-ścinających w funkcji przemieszczenia listwy tnącej przyrządu quasi-ścinającego PQS-5 dla próbek brzożowych o różnych wartościach kąta ostrza β .

Fig. 2. Diagram of quasi-static shearing forces within displacement coordination of cutting bar of PQS-5 shearing device for birch samples cut with various angles of blade β .

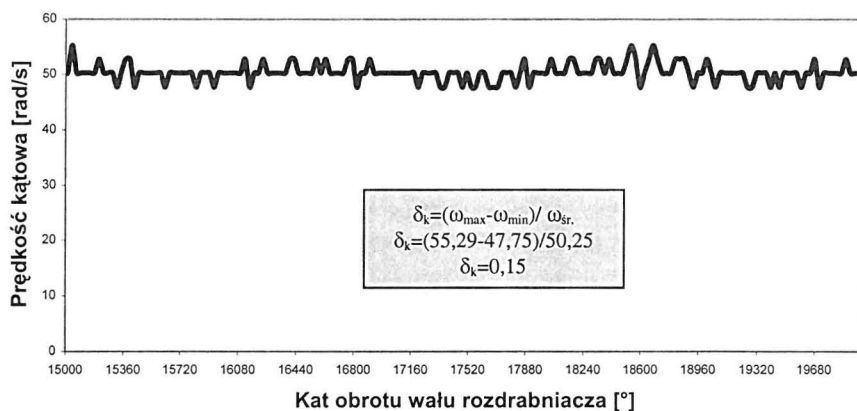
Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałościowych materiałów drewnianych, kąt ostrza $\beta = 60^\circ$.

Table 1. Results achieved for various kinds of wood cut with angles blade $\beta = 60^\circ$

Rodzaj drewna	Nr próby	Maksymalna siła tnąca P [kN]	Suma przekrojów $\sum f_i$ [mm ²]	Wytrzymałość na ścinanie R_t [MPa]	Praca quasi-ściania l_{qs} [J]	Procent wilgotność w_i [%]
Sosna	A	8,015	308,05	26,02	35,44	16,5
	B	8,123	308,50	26,33	35,12	16,0
	C	7,920	307,25	25,78	35,84	17,2
	D	7,990	307,99	25,94	35,92	15,5
	E	8,240	307,16	26,83	35,17	16,8
Buk	A	10,120	308,15	32,84	47,60	21,6
	B	9,912	307,75	32,21	47,01	20,5
	C	10,010	307,99	32,50	47,05	22,2
	D	9,850	307,95	31,99	48,12	20,8
	E	10,02	308,00	32,53	48,01	19,9
Brzoza	A	11,810	308,10	38,33	62,98	22,8
	B	11,520	307,15	37,51	62,54	21,8
	C	12,001	307,99	38,97	62,65	26,4
	D	11,910	307,87	38,69	63,30	23,8
	E	11,990	308,01	38,93	63,35	20,3

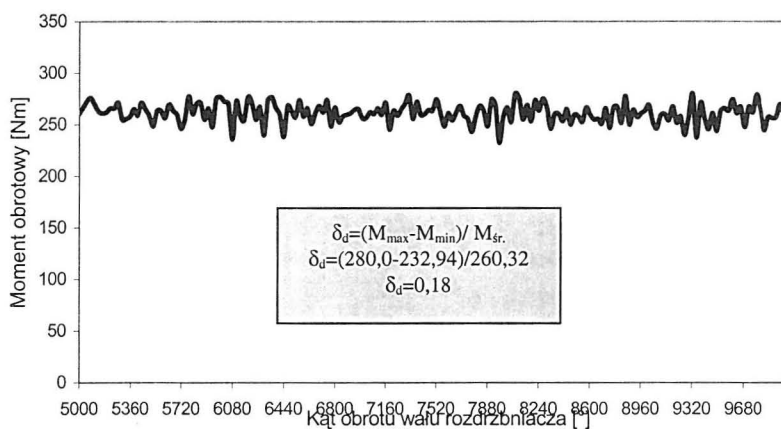
Badania w warunkach przemysłowych

Zasadniczym celem rozdrabniania drewna w rębaku jest uzyskanie zrębków o wysokiej jakości tzn. możliwie równomiernej długości oraz grubości (bez uszkodzeń wzdłużnych i poprzecznych) przy minimalnym zużyciu energii.



Rys. 3. Przebieg prędkości i nierównomierności biegu rębaka podczas rozdrabniania drewna bukowego, średnica 100 mm.

Fig. 3. Course of velocity and running non-uniformity of chipper during crushing of beech of 100 mm diameter.



Rys. 4. Przebieg momentu obrotowego i nierównomierności biegu rębaka podczas rozdrabniania drewna bukowego, średnica 100 mm.

Fig. 4. Course of torque and running non-uniformity of chipper during crushing of beech of 100 mm diameter.

Proces rozdrabniania drewna przeprowadzono w zespole rozdrabniającym rębarkowym typu DVUA-76 wyprodukowanym przez firmę Koller & Bowenecamp w Żninie.

Wyniki badań prędkości i nierównomierności kinematycznej rębaka przedstawiono na Rys. 3, a wyniki badań momentu obrotowego i nierównomierności dynamicznej przedstawiono na Rys. 4.

WNIOSKI

Na podstawie przytoczonych rozważań teoretycznych w oparciu o istniejący stan wiedzy i techniki oraz przeprowadzonych badań własnych dotyczących wpływu niektórych parametrów surowców drewnianych na funkcjonalność pracy rozdrabniacza wielokrawędziowego można wyciągnąć następujące wnioski:

- Wyniki pomiarów uzyskane podczas rozdrabniania potwierdziły przydatność modeli jakości procesu przyjętych w rozważaniach teoretycznych oraz słuszność wyprowadzonych zależności matematycznych. Ustalono, że w procesie quasi-ścianania analizowanych próbek występuje złożony stan naprężeń i występuje ścinanie, ściskanie, skręcanie i rozłupywanie.
- Sposób oddzielania odcinanych kawałków wsadu zależy przede wszystkim od kąta skrawania, kąta natarcia i rodzaju (właściwości) materiału. Jeżeli dla badanego materiału kąty podawania i wciągania wsadu są stałe oraz cechy materiału rozdrabnianego są niezmiennie to z przeprowadzonych badań wynika, że największy wpływ na wielkość pracy potrzebnej do oddzielenia ciętych kawałków ma kąt tnący ostrza noża.
- Podczas projektowania rozdrabniacza należy zakładać moc napędu na poziomie średnich obciążeń pracy rozdrabniaczy. Dodatkowe ilości energii potrzebne przy rozdrabnianiu w zakresach większych od przeciętnych muszą być doprowadzane albo dostarczane przez masy wirujące. Może to być dodatkowe koło zamachowe bądź najczęściej spotykana w praktyce przewymiarowana tarcza rozdrabniająca.

PIŚMIENICTWO

1. **Flizikowski J.:** Projektowanie środowiskowe maszyn. WU ATR, Bydgoszcz, 1998.
2. **Flizikowski J.:** Rozdrabnianie tworzyw sztucznych. WU ATR, Bydgoszcz, 1998.
3. **Macko M.:** Wpływ cech konstrukcyjnych zespołu wielotarczowego na charakterystyk i użytkowe procesu rozdrabniania rurowych recyklatów tworzyw sztucznych. Dysertacja WM- ATR Bydgoszcz, 2000.

4. **Opielak M.:** Badanie wpływu kształtu elementu rozdrabniającego na jakość i energochłonność procesu rozdrabniania. „Budowa i eksploatacja maszyn w przemyśle spożywczym”, Poznań-Błażejewko, 1990.
5. **Opielak M.:** Rozdrabnianie materiałów rolno spożywczym. Badanie wpływu konstrukcji rozdrabniacza i cech materiału rozdrabnianego na jakość i energochłonność procesu. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1996.
6. **Bieliński K., Flizikowski J.:** Wspomaganie zarządzania mediami energomaterialnymi w technologiach spożywczych. *Inżynieria Maszyn*, 15/2000, 165-170, 2000.
7. **Tomporowski A. (współautorstwo):** Nierównomierność rozdrabniania surowców i materiałów spożywczych. *Żywnienie człowieka*, ATR Bydgoszcz, 2001.
8. **Tomporowski A., (współautorstwo):** Nierównomierność rozdrabniania recyklatów tworzyw. *Recykulacja w budowie maszyn*. ATR Bydgoszcz, 2001.
9. **Flizikowski J., Peszyński K., Flizikowski A., Makhief A. Al-Zubiedy:** Analiza danych quasi-ścianania w metodyce środowiskowych rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniaczy. *Inżynieria Maszyn*, 15/2000, Bydgoszcz, 235-238, 2000.
10. **Flizikowski J., Kikiewicz Z., Macko M.:** Cechy geometryczne krawędzi rozdrabniającej rurowe rycyklaty tworzyw sztucznych. *Inżynieria Maszyn*, 16/2000, Bydgoszcz, 73-80, 2000.

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES OF DISC SPLITTING MACHINE ON QUALITY OF CRUSHING PROCESS

M. Opielak, A. Tomporowski

Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Lublin
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36

Summary. The paper presents the analysis of the influence of design features of disc splitting machine (chipper) on quality of wood crushing process. Investigations were made both at laboratory and in practice. Quasi shearing laboratory tests were realized on universal testing machine. Practice tests were realized using wood splitting machine model DVUA-76 made by Koller & Bowenecamp from Žnin.

Keywords: crushing, quality, disc splitting machine, design features.