

JÓZEF FLIZIKOWSKI
ADAM ŚWIETLICKI

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Wydajność wielotarczowego rozdrabniania ziaren

Wprowadzenie

Z przetwarzaniem żywności wiąże się ściśle podnoszenie wydajności rozdrabniania surowców ziarnistych. Zwiększanie wydajności, racjonalne rozdrabnianie ziaren zbóż (żywności, nośników energii) są celem rozwoju konstrukcji rozdrabniaczy.

Podstawowym celem badań jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie: jakie cechy konstrukcyjne i parametry ruchu tarcz wpływają na wydajność wielotarczowego rozdrabniania surowców ziarnistych. Dodatkowym celem jest przybliżenie konstrukcji i działania rozdrabniaczy wielotarczowych.

Metodyka, konstrukcja i materiał

Wydajnością nazywamy miarę efektywności, wielkości produkcji (ustaloną np. jednostką czasu). Zależy ona od technologii, kwalifikacji, motywacji, jakości materiałów, konstrukcji rozdrabniacza, organizacji, warunków pracy itp.

Wydajność masową postanowiono ograniczyć do wejścia – wyjścia masy z rozdrabniacza w czasie prowadzenia obserwacji:

$$Q = \frac{dm}{dt} \quad \text{lub} \quad Q = \frac{m_1}{t} \quad (1)$$

gdzie:

- Q – wydajność masowa, [g s^{-1}], [kg s^{-1}],
- dm – przyrost masy na wyjściu z rozdrabniacza, [g], [kg],
- dt – czasu obserwacji, [s],
- m_1 – masa rozdrobnionego produktu, [g], [kg],
w przypadku rozdrabniaczy wielotarczowych:

$$m = S_R l \rho \quad \text{dla} \quad l = \frac{V_z}{S_z}; \quad S_R = (B - A)R^2 \quad (2)$$

gdzie:

- S_R – powierzchnia, przekrój rozdrabniania, [m^2],
- l – droga przejścia rozdrabnianej masy, [m],
- ρ – gęstość usypowa rozdrabnianej masy, [kg m^{-3}],
- V_z – objętość zasilania masowego, dozowania, [m^3],
- S_z – przekrój zasilania, dozowania, przetwarzania i wyjścia masy, [m^2].

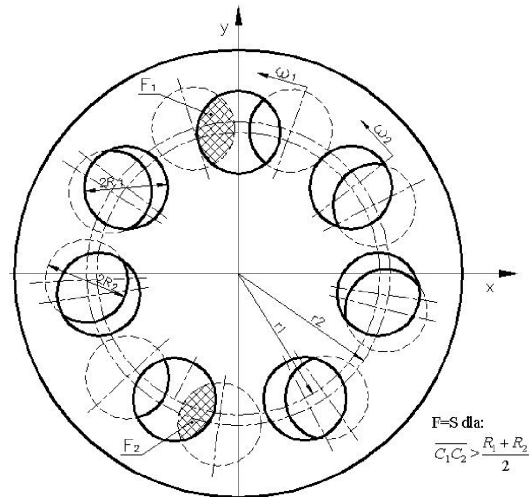
Podstawiając zależności (2) do (1) otrzymano wzór (model) przydatny do oceny charakterystyk masowych procesu rozdrabniania wielotarczowego ziaren:

$$Q = (B - A)R^2 \frac{V_z}{S_z t} \rho \quad (3)$$

gdzie:

- A, B – stała zależna od relacji efektywnych powierzchni w sąsiednich tarczach (Rys.1),
- R – promień otworów, [m].

Na rys. 1 pokazano efektywne przekroje rozdrabniania dla dwóch tarcz [1].



Rys. 1. Efektywne przekroje rozdrabniania dla dwóch tarcz (pola zakreśwane) [1]

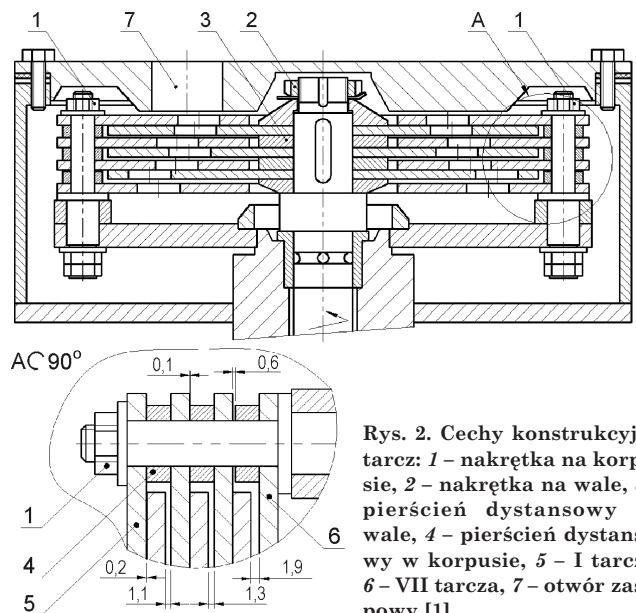
Jednostkowe zużycie energii obliczano zgodnie ze wzorem:

$$E_j = \frac{P_r}{Q} \quad (4)$$

gdzie:

P_r – moc potrzebna na rozdrabnianie, [W].

Zasadniczych możliwości doskonalenia wydajności rozdrabniaczy wielotarczowych można spodziewać się w konstrukcji tarcz i ruchu masy ziaren rozdrabnianych (Rys. 2).



Rys. 2. Cechy konstrukcyjne tarcz: 1 – nakrętka na korpusie, 2 – nakrętka na wale, 3 – pierścień dystansowy na wale, 4 – pierścień dystansowy w korpusie, 5 – I tarcza, 6 – VII tarcza, 7 – otwór zasympowy [1]

Przeprowadzone próby rozdrabniania ziaren kukurydzy oraz pszenżyta na rozdrabniaczu wielotarczowym, o sterowanych cechach tarcz i parametrach dozowania pozwoliły na racjonalizację zmiennych: wydajności (masowej i celowej (o wymiarze produktu 0,8–1,6 mm), energochłonności (minimalnej), rozkładów i stopni rozdrobnienia.

Rozdrabniacz wielotarczowy typ RWT-7:JA, wykonany wg dokumentacji UTP w Bydgoszczy, działa na zasadzie quasi – ścinania technologicznego. Zbudowany jest z siedmiu tarcz osadzonych współosiowo w układzie pionowym, tj. z trzech tarcz osadzonych na wale, oraz czterech tarcz – w korpusie. Prędkość kątowna zespołu tarcz osadzonych na wale jest różna od prędkości kątownej zespołu tarcz osadzonych w korpusie, również przy zachowaniu współbieżnego ruchu obu zespołów tarcz. Tarcze mają otwory cylindryczne i różnią się między sobą liczbą i wymiarami otworów, liczbą rzędów otworów i średnicami rozmieszczenia otworów w tarczy (Rys. 2).

Podczas montażu zespołu tarcz za pomocą nakrętek (poz. 1 i 2, Rys.2) dokręcano je niewielką siłą (1–3) Nm, kasując luzy między parami tarcz nr 3–4, 5–6, dla „ciaśniejszej pracy” zespołu tarcz. Pierwsze badania zostały przeprowadzone tylko dla 2 tarcz. Podczas następnych badań montowano kolejne tarcze, aż w ostatnim badaniu użyto 7 tarcz. Próby prowadzono dla kukurydzy i pszenżyta (wilgotność: (8,6–10,5)%, masa 1000 ziaren: pszenżyto – 34,16 g, kukurydza – 281,10 g).

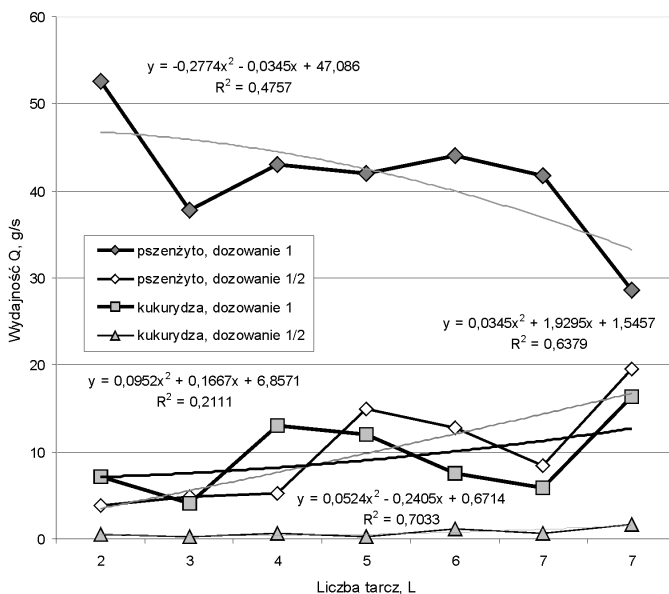
Wyniki i dyskusja

Wydajność masową Q procesu rozdrabniania, dla zmiennej liczby tarcz i zmiennego sposobu dozowania ziarna, pokazano na wykresie liniowym i kolumnowym (Rys. 3 i 4).

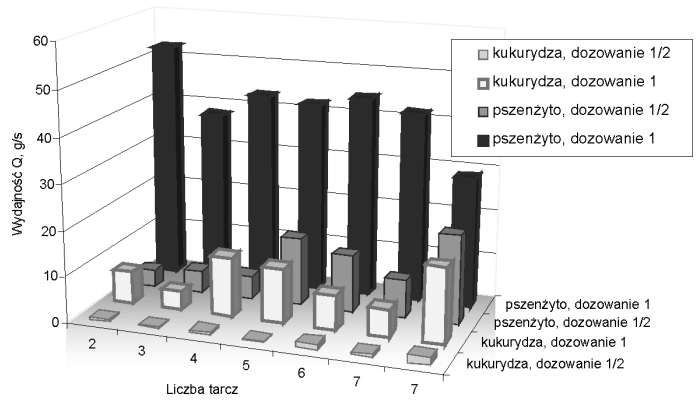
Analizę sitową produktu rozdrabniania kukurydzy, dla dozowania ziarna (1), tarcz: (2-7) pokazano na rys. 6.

Wydajność masową i wydajność celową względną identyfikują funkcje celu w postaci zależności (5) do (12):

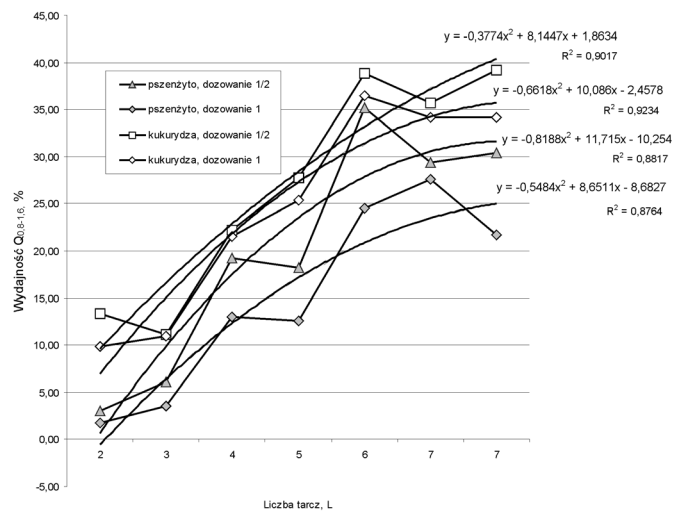
$$Q_{g/s; pszenżyto 1} = -0,2774Lt^2 - 0,0345Lt + 47,086, \quad R^2 = 0,4757 \quad (5)$$



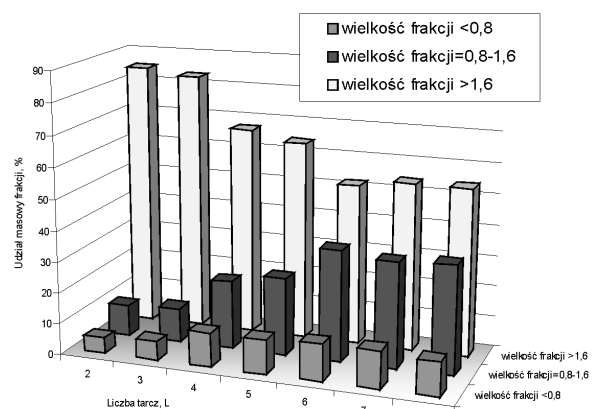
Rys. 3. Wydajność masowa rozdrabniania ziaren pszenżyta i kukurydzy dla zmiennej liczby tarcz (od 2 do 7), oraz dla zmiennego sposobu dozowania ziarna



Rys. 4. Wydajność masowa, frakcyjna rozdrabniania ziaren pszenżyta i kukurydzy dla zmiennej liczby tarcz (od 2 do 7), oraz dla zmiennego sposobu dozowania ziarna



Rys. 5. Względne wydajności celowe $Q_{0,8-1,6}$ dla zmiennej liczby tarcz, oraz dla zmiennego sposobu dozowania ziarna w odniesieniu do całkowitej wydajności masowej Q



Rys. 6. Zmienność wewnętrzna frakcji produktu rozdrabniania kukurydzy, dozowanie: (1), liczba tarcz: (2÷7)

$$Q_{g/s; pszenżyto 1/2} = 0,0345Lt^2 + 1,9295Lt + 1,5457 \quad R^2 = 0,6379 \quad (6)$$

$$Q_{g/s; kukurydza 1} = 0,0952Lt^2 + 0,1667Lt + 6,8571 \quad R^2 = 0,2111 \quad (7)$$

$$Q_{g/s; kukurydza 1/2} = 0,0524Lt^2 - 0,2405Lt + 0,6714$$

$$R^2 = 0,7033 \quad (8)$$

$$Q_{0,8-1,6; kukurydza 1/2} = -0,3774Lt^2 + 8,1447Lt + 1,8634$$

$$R^2 = 0,9017 \quad (9)$$

$$Q_{0,8-1,6; kukurydza 1} = -0,6618Lt^2 + 10,086Lt - 2,4578$$

$$R^2 = 0,9234 \quad (10)$$

$$Q_{0,8-1,6; pszenżyto 1/2} = -0,8188Lt^2 + 11,715Lt - 10,254$$

$$R^2 = 0,8817 \quad (11)$$

$$Q_{0,8-1,6; pszenżyto 1} = -0,5484Lt^2 + 8,6511Lt - 8,6827$$

$$R^2 = 0,8764 \quad (12)$$

gdzie:

- $Q_{g/s; pszenżyto 1}$ – wydajność masowa dla wybranych ziaren zbóż i sposobu zasilania, [$g \cdot s^{-1}$],
 $Q_{0,8-1,6; kukurydza 1}$ – względna wydajność celowa produktu o zachowanych wymiarach, [%],
 Lt – liczba tarcz, [szt.]

Liczba tarcz w zespole rozdrabniającym nie przekładała się liniowo na przyrost wydajności, np. w przypadku rozdrabniania ziaren pszenżyta dla dozowania pełnego (1, Rys.4), istotny przyrost wydajności występuje podczas rozdrabniania z użyciem tylko 2 tarcz, a podczas zmiany w samym tylko dozowaniu na połowiczne (1/2), najwyższy przyrost – dopiero przy użyciu zespołu 5 tarcz. Podobna sytuacja zaistniała podczas rozdrabniania ziaren kukurydzy, gdzie największą wydajność podczas dozowania pełnego (1, Rys. 4), uzyskano dla 4 tarcz, a przy zmianie dozowania na połowiczne (1/2), najwyższy przyrost – dopiero przy 6 tarczach rozdrabniających. Wykresy wydajności przypominają sinusoidę, z tą różnicą, że zauważalna jest tendencja do wzrostu wydajności w zależności od liczby użytych tarcz w procesie rozdrabniania. Na wahania wskaźników wydajności rozdrabniania, wpływa również sposób, w jaki montowano tarcze. Podczas wykonywania

ostatnich badań z użyciem 7 tarcz, skreślonych tak, aby pomiędzy nakrętkami (poz. 1 i 2), a podkładkami pokazanymi na rys. 3, pozostawał luz rzędu 0,5÷1 mm, zauważono (Rys. 4) bardzo wyraźny przyrost wydajności (nawet trzykrotny). Wyjątkiem jednak były badania przeprowadzone na ziarnach pszenżyta podczas dozowania pełnego (1), gdzie zaobserwowano istotny spadek wydajności (z 41,7 do 28,6 g/s). Jest to spowodowane krótkim czasem obserwacji (zaledwie 10s).

Wydajności celowej $Q_{0,8+1,6}$ (Rys.6) w porównaniu z wydajnością $Q_{<0,8}$, dla zespołu 2 i 3-tarczowego, są sześciokrotnie większe. Następne duże wydajności – występują dla czterech tarcz. Kolejny przyrost wydajności celowej $Q_{0,8+1,6}$ (rzędu 85÷100%), zaobserwowano dla sześciu tarcz. Również i tym razem stopień dozowania (1/2) przyczynił się do przyrostu wydajności celowej $Q_{0,8+1,6}$. Wraz z rosnącą liczbą tarcz (do siedmiu), udział masowy ww. frakcji wzrasta. W porównaniu z rozdrobnionym ziarnem pszenżyta (dla 7 tarcz), udział masowy frakcji mniejszej od 0,8 mm jest o 280% większy, a dla frakcji większej od 1,6 mm – o 130%. Podczas badań z użyciem zespołu 7 tarcz, skreślonych tak, aby pomiędzy nakrętkami (poz. 1 i 2, Rys.2), pozostawał luz (0,5÷1) mm, procentowy udział masowy dla dozowania (1/2) i (1) ww. frakcji uległ minimalnym zmianom (do 1%).

LITERATURA

1. J. Flizikowski: Konstrukcja rozdrabniaczy żywności. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Bydgoszcz 2005
2. J. Flizikowski: Inż. i Ap. Chem., 47, nr 4, 26 (2008).
3. J. Flizikowski, P. Kopacek: Inż. Ap. Chem., 46, nr 1 (2007).
4. J. Flizikowski, A. Kowalski: Inż. Ap. Chem., 46, nr 1, 48 (2007).
5. J. Flizikowski, A. Lis: Inż. Ap. Chem., 46, nr 1, 50 (2007).
6. A. Kaleta, J. Wojdalski: Przetwórstwo rolno-spożywcze. Wybrane zagadnienia inżyniersko – produkcyjne i energetyczne. Warszawa 2007.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2006-2008 jako projekt badawczy.

INŻYNIERIA I APARATURA CHEMICZNA

Czasopismo naukowo-techniczne

- poświęcone problemom obliczeń procesowych i zagadnieniom projektowo-konstrukcyjnym aparatury i urządzeń dla przemysłów przetwórczych, w tym szczególnie dla przemysłu chemicznego, jak również dla energetyki, gospodarki komunalnej i ochrony środowiska;
- prezentujące procesy i operacje jednostkowe w aspekcie poprawy wydajności, lepszego wykorzystania surowców, oszczędności energii, ochrony środowiska; omawiające badania naukowe, nowe lub ulepszone konstrukcje oraz właściwą eksploatację i obsługę aparatów i urządzeń;
- przeznaczone dla pracowników badawczych, projektantów, konstruktorów, a także menadżerów i inżynierów ruchomych.

Artykuły główne są recenzowane przez specjalistów.