

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA SPECJALNEGO SYSTEMU ROZDRABNIANIA

Józef Flizikowski, Wojciech Kamyk

Katedra Maszyn Specjalnych i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy,
al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, fliz@utp.edu.pl

Streszczenie. W pracy zaprezentowano procedurę optymalizacji konstrukcji rozdrabniaczy do materiałów o zmiennych właściwościach wsadu i przejścia przez zespół roboczy, tj. modelowania i rozwoju rozdrabniania w recyklingu. Użyto standardowych metod badawczych: wskaźnikowej optymalizacji procesu i konstrukcji kruszarki.

Słowa kluczowe: efektywność, rozwój, rozdrabnianie

WSTĘP

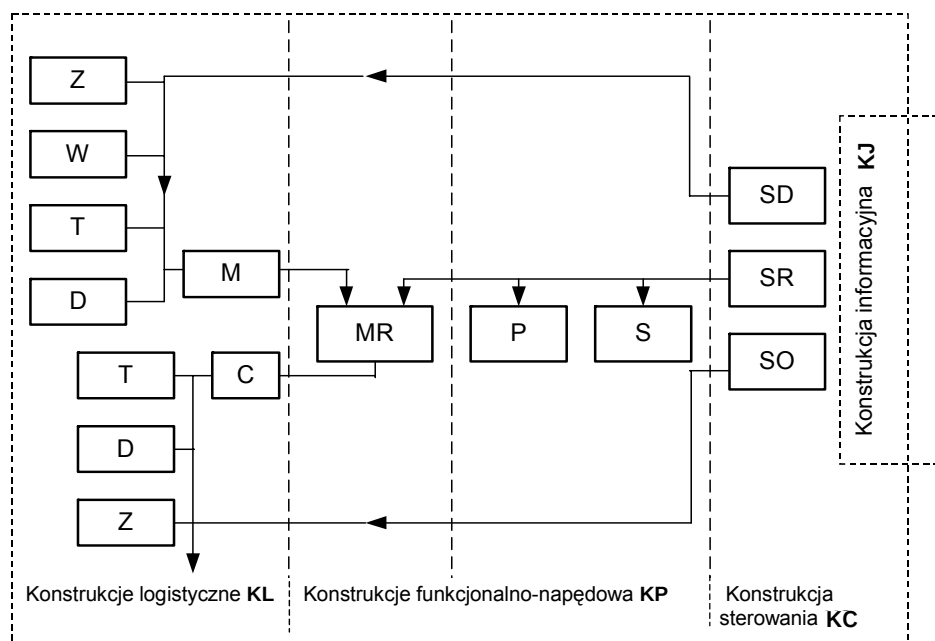
Zagadnienie modelowania efektywności sprowadzono do zagadnień energetycznych, występujących podczas rozdrabniania różnych materiałów w układzie przetwórczym, sterowniczym, informacyjnym i logistycznym recyklingu. Celem pracy było badanie rozwoju rozdrabniania materiałów kruchych, biologicznych, polimerowych i włóknistych w kierunku najwyższej efektywności procesu. W recyklingu rozdrabniany jest wsad kruchy, biologiczny, polimerowy i włóknisty jednocześnie.

Rozwiązano problem: czy warunki systemowe konstrukcji specjalnych pozwalają ocenić proces rozdrabniania i układy rozdrabniacza materiałów w recyklingu?

METODYKA BADAŃ

Praktycznym celem oceny rozdrabniania jest poprawa charakterystyk efektywności H i warunków $\bar{W}$ systemu, w czasie Θ – zmiennej niezależnej rozwoju (innowacji, modernizacji), i w czasie trwania procesu dynamicznego t . Efektywność (e_R) i sprawność (η_R) rozdrabniania (tu w zakresie pracy użytecznej) są charakterystykami energetycznymi, służącymi do oceny globalnej recyklingu, rozwoju konstrukcji i systemów specjalnych. Charakterystyki te zależą od czterech konstrukcji (maszyn, urządzeń) specjalnych (rys. 1):

- 1) procesowej KP, umożliwiającej funkcjonowanie, czyli realizację przez cały system postawionych celów rozdrabniania;
- 2) sterowania KC, zapewniającej kierowanie, koordynację i samosterowanie działań podsystemów dla realizacji celów całego systemu, w tym zużycia minimum energii;
- 3) informacyjnej KJ, do gromadzenia, przetwarzania, analizy i dystrybucji strumieni informacji w obrębie systemu (nadsystemu), z zewnątrz systemu zgodnie z celami i charakterystykami działania konstrukcji (systemów) specjalnych (podsystemów);
- 4) logistycznej KL, do utrzymania i zaopatrywania pozostałych systemów specjalnych (i siebie) dla niezawodnego działania wszystkich jednostek – konstrukcji.



Rys. 1. Model konstrukcji specjalnych w rozdrabnianiu materiałów w recyklingu;
 KL: Z – zbiorniki, W – wybieraki, T – przenośniki, D – dozowniki, M – separatory magnetyczne,
 C – cyklony; KP: MR – maszyny rozdrabniające, P – przekładnie, S – silniki;
 KC: SD – sterowanie dozowaniem, SR – sterowanie rozdrabnianiem, SO – sterowanie obsługą;
 KJ: czujniki, procesory, bazy wiedzy [Ostwald 2005]

Fig. 1. Structural model of special grinding machinery constructions; KL: Z – containers,
 W – selectors, T – transporters, D – batchers, M – magnetic separators, C – cyclones;
 KP: MR – grinders, P – gear, S – motor; KC: SD – batching control, SR – grinding control,
 SO – servicing control; KJ: indicators, processors and knowledge basis

W układzie maszynowym występują relacje przejścia, wykorzystania i kumulacji energii: E_{Ri} – między maszyną rozdrabniającą (MR) a przekładnią (P), E_S – na wyjściu z silnika (S), E_R – na wejściu do rozdrabniania; straty energii w konstrukcjach silnika, przekładni, rozdrabniacza i ich otoczeniach: ΔE_S , ΔE_P , ΔE_M , i w ogóle na wyjściu z konstrukcji procesowych, sterowniczych, informacyjnych i logistycznych: E_{Xk} . Relacje mają charakter efektywnościowy, jeżeli odnoszą się do wydajności, stopnia rozdrobnienia,

obciążeń doraźnych rozdrabniania, lub sprawnościowy, np. dla pracy użytecznej. Energetyczny model konstrukcji specjalnych do rozdrabniania wszelkich materiałów (rys. 1) jest otwarty (linia przerywana, charakterystyki wewnętrzne i zewnętrzne KJ), tzn. otwarty na potencjały wchodzące i dla potencjałów wychodzących, dopuszcza zmiany wynikające ze stanu wiedzy i przemian techniki budowy i eksploatacji.

Proces rozdrabniania tworzyw w recyklingu [za: Projekt... 2005] jest efektywny, gdy wydajność techniczna i stopień rozdrobnienia rosną, a obciążenia i energia potrzebna do rozdrobnienia maleją. Zależnie od stanu konstrukcji układu (KP, KC, KJ, KL) prowadzi to do wyznaczenia kryteriów optymalizacji procesu o [Projekt..., 2005]:

- 1) efektywnej wydajności, $k_w = W_t / W_s$, W_t oznacza wydajność technologiczną,
- 2) efektywnym stopniu rozdrobnienia, $k_n = n$, n – stopień rozdrobnienia,
- 3) efektywnych obciążeniach maksymalnych, $k_R = \frac{1}{R_{max\ sr}}$, $R_{max\ sr}$ – wartość śred-

nia maksymalnych sił rozdrabniania,

- 4) efektywnej energii $k_E = \frac{1}{L_r}$, L_r – wartość energii ogólnej (lub pracy użytecznej)

rozdrabniania.

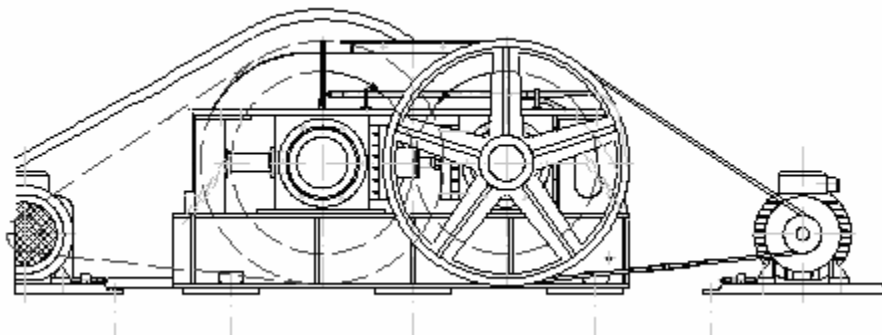
Całkowity wskaźnik efektywności procesu (dla konkretnej maszyny i wsadu) przybiera postać:

$$k = k_w \cdot k_n \cdot k_R \cdot k_E$$

Jeżeli proces I jest bardziej efektywny niż proces II, to $k_I > k_{II}$. Zmienne drugiego procesu rozdrabniania wskazują na odejście od optimum (np. tab. 1).

We wcześniejszych pracach [Flizikowski 2002, 2006a, b, c, Projekt... 2005, Knuth 2006, Flizikowski i in. 2007, Badania... 2008] prezentowano wyniki badań efektywności rozdrabniania materiałów polimerowych, włóknistych i biologicznych. W tej pracy zajęto się aspektem obciążenia rozdrabniacza materiałem kruchym.

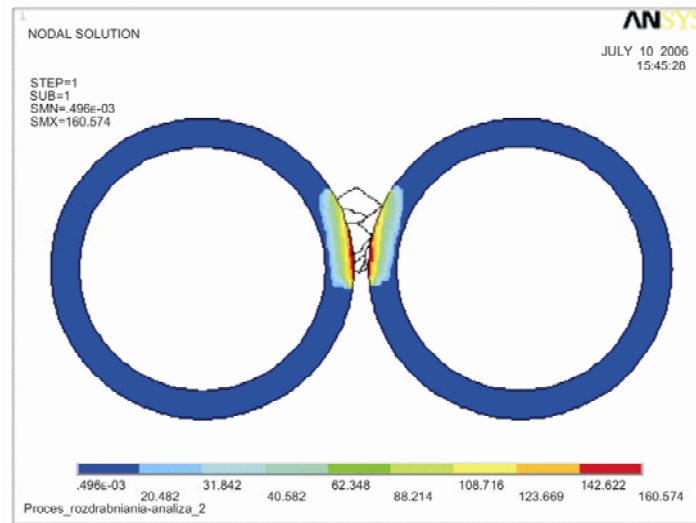
W pierwszym etapie przeprowadzono analizę procesu rozdrabniania. W celu zaimportowania do programu ANSYS cech geometrycznych i materiałowych wykorzystano rysunek analizowanej kruszarki (rys. 2) oraz rysunek walca gładkiego (rys. 3).



Rys. 2. Schemat silnika, przekładni, zespołu wałców rozdrabniających i relacji

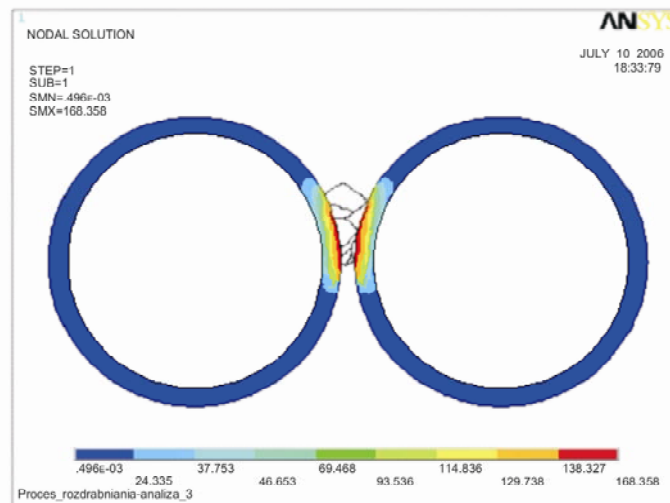
Fig. 2. Motor, gear and working roller unit schema and relations

Po serii prób związanych z modelowaniem materiału kruchego (właściwe zamodelowanie krzywej naprężenie-siła) oraz dobraniu odpowiednich elementów z biblioteki elementów skończonych (elementy strukturalne, kontaktowe między współpracującymi powierzchniami), ustaleniu własności materiałowych, dobraniu w miarę odpowiedniej wielkości siatki podziału, ustaleniu warunków brzegowych, sposobu obciążenia, dokonano obliczeń wg programu ANSYS i otrzymano rezultat analizy nr 2 (rys. 3). Materiał kruchy ma wartość współczynnika $R_{max\ \dot{\epsilon}} = 151\text{ MPa}$.



Rys. 3. Przypadek wytrzymałości na tworzącej walców, analiza nr 2

Fig. 3. A strength on the generating line of roller, analyze no 2



Rys. 4. Przypadek wytrzymałości na tworzącej walców, analiza nr 3

Fig. 4. A strength on the generating line of roller, analyze no 3

Walec zewnętrzny wykonany jest ze staliwa manganowego (L120G13), nadawa $L_0 = 0\text{--}50$ mm, produkt $0\text{--}10$ mm, szczelina $s = 8$ mm. Maksymalne naprężenia na powierzchni styku wsadu z materiałem rozdrabnianym (rys. 3) nie przekraczają wartości dopuszczalnych kr i granicy plastyczności Re . W analizie nr 3 (rys. 4) za pomocą funkcji w programie, zmniejszona została grubość tworzącej walców o 30 mm, która teraz wynosiła 70 mm. Wartości naprężeń kr i granicy plastyczności Re nie przekraczają wartości dopuszczalnych.

W wyniku zmniejszenia grubości tworzącej, naprężenia na powierzchni styku z materiałem rozdrabnianym są większe, wynika to ze zmniejszenia przekroju czynnego. Badany zespół walcowy kruszarki poddany analizie procesu rozdrabniania za pomocą MES przenosi obciążenia z zakresu sił maksymalnych. Pozostałe charakterystyki efektywnościowe wyznaczano na podstawie programu doświadczenia fizycznego (tab. 1).

WYNIKI I DYSKUSJA

Postępowanie optymalizacyjno-efektywnościowe według kryteriów efektywnościowych [Zawada 2005] prowadzi do ujawnienia licznych koncepcji rozwiązań konstrukcyjnych, różnorodnych udoskonaleń procesu rozdrabniania i całego systemu specjalnego (tab. 1). Konstrukcja rozdrabniacza z grubszą tworzącą jest energetycznie rozwiązaniem lepszym ($k_I = 239,15 > k_{II} = 217,62$). Wyniki badań efektywności energetycznej wpłynęły na udoskonalenia parametrów ruchu (prędkości, momenty obrotowe, moce, przyspieszenia, przejścia masy itd.) oraz wskazały preferowane zastosowania technologii do konkretnego materiału (ze względu na stopień rozdrobnienia).

Tabela 1. Wskaźniki efektywności energetycznej procesu rozdrabniania materiałów kruchych

Table 1. Energetic effectiveness indexes of crusher process

Tworząca walców g, mm	Kryterium wydajności $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	Kryterium stopnia rozdrobnienia	Kryterium obciążeń, MPa^{-1}	*Kryterium pracy N·m, J	Całkowity wskaźnik k	Stan optimum
100, Próba 2	1,04	5,17	0,006227	7142,8	239,15	Lepszy
70, Próba 3	1,09	4,88	0,005939	6888,8	217,62	Dobry

*w obliczeniach przyjęto bezpośrednią wartość pracy użytecznej $k_E = L_r$, zamiast jej odwrotności

Zalecenia Zawady [2005] są słuszne dla całkowitej energii na rozdrabnianie. W przypadku pracy użytecznej ocena wskaźnika jest zaniżona i dodatkowo neguje rozwiązania o wyższej sprawności rozdrabniania.

PODSUMOWANIE

Pierwszym etapem badań jest matematyczne sformułowanie i określenie właściwości strukturalnych oraz podział na mniejsze jednostki koordynowanych zadań lokalnych. Potwierdza się obserwacja, że proces rozdrabniania jest bardziej efektywny, gdy wydajność techniczna, stopień rozdrobnienia i praca użyteczna rosną, a obciążenia doraźne maleją. Dla wyznaczonych numerycznie sił maksymalnych i doświadczalnie charakterystyk wydajnościowo-użytkowych można wykazać rozróżniającą ocenę konstrukcji walców, nawet po zmianie pojedynczej cechy (wymiar tworzącej walca).

Między zmiennymi występują zależności o charakterze przyczynowo-skutkowym, których opis matematyczny jako model w algorytmach oceny wykorzystano w rozwoju konstrukcji rozdrabniacza. Model efektywności energetycznej rozdrabniania posłużył do oceny procesu, a dodatkowo do weryfikacji konstrukcji. Fakt ten upoważnia do stwierdzenia, że warunki systemowe konstrukcji specjalnych pozwalają ocenić proces rozdrabniania i wybrane rozwiązania konstrukcyjne rozdrabniacza materiałów w recyklingu.

PIŚMIENNICTWO

- Badania i rozwój zintegrowanego układu wielotarczowego rozdrabniania ziaren kukurydzy. Grant MEiN 0496/T02/2006/30 (promotorski), Warszawa, Bydgoszcz, 2006–2008.
- Flizikowski J. 2002. Rozprawa o konstrukcji. Wydawnictwo ITE, Radom.
- Flizikowski J. 2006a. Globalny algorytm innowacji maszyn. Wyd. BTN, Bydgoszcz, 37, 40.
- Flizikowski J. 2006b. Doskonalenie badań i rozwoju rozdrabniaczy. Inż. i Ap. Chem., 45, 1, 38.
- Flizikowski J. 2006b. Granulowanie tworzyw rozdrabniaczem. Inż. i Ap. Chem., 45, 3, 23.
- Flizikowski J., Lis A. 2007. Optymalizacja rozdrabniacza wielotarczowego. Inż. i Ap. Chem., 46, 1, 50.
- Knuth P. 2006. Komputerowe wspomaganie konstrukcji i analizy zespołu walcowego kruszarki. Prace WM UTP, Bydgoszcz.
- Ostwald M. 2005. Podstawy optymalizacji konstrukcji. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Projekt implementacji inteligentnego systemu wspomagania konstrukcji młynów specjalnych, 2005. Grant MNiI, ATR-AGH, Warszawa, Bydgoszcz, Kraków.
- Zawada J. (red.) 2005. Wprowadzenie do mechaniki maszynowych procesów kruszenia. Wydawnictwo ITE, Radom.

ENERGY EFFECTIVENESS OF GRINDING IN SPECIAL PURPOSE SYSTEM

Summary. In the work are presented the effectively procedure, research and development of special purpose grinding, in recycling processes, it is: sciences aiding of brittle, bio- polymer and fibre materials new processes. Standards methods of research and optimisations of materials grinding and design machines-grinders was used.

Key words: development, effectiveness, grinding, crushing

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