

Adam MROZIŃSKI

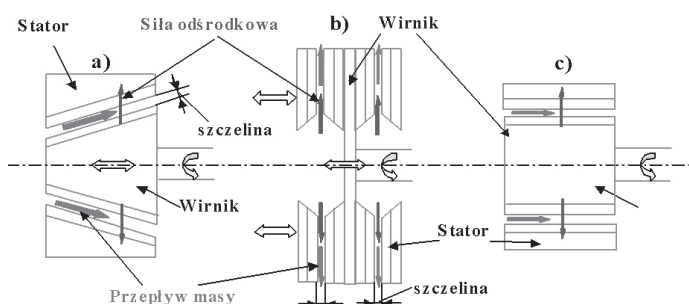
e-mail: adammmroz@utp.edu.pl

Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

## Energetyczne aspekty obróbki mas makulaturowych w młynach

### Wstęp

Minimalizacja kosztów z zachowaniem wysokiej jakości uzyskiwanego papieru stanowi ważniejszy cel rozwojowy urządzeń mielących masy makulaturowe. Najczęściej stosowanymi młynami do obróbki mas wtórnych są młyny stożkowe oraz młyny tarczowe różnych odmian i typów [1, 4]. Idea działania tych klasycznych urządzeń została przedstawiona na rys. 1. Schemat obrazuje porównanie kierunku przepływu masy oraz działania siły odśrodkowej w obu typach.



Rys. 1. Idea działania tych klasycznych urządzeń mielących [7]

Współczesne koncepcje konstrukcji młynów w znacznej mierze uzależnione są od wymagań użytkowych i środowiskowych. Do najważniejszych wymagań zalicza się: zwiększenie intensywności oddziaływania na włókna po przejściu przez strefę roboczą młyna, zwiększanie zdolności do tworzenia wiązań po obróbce przez włókna, niski pobór mocy biegu jałowego, niskie koszty remontów oraz łatwy dostęp do zespołu roboczego. Analiza działania obu najczęściej stosowanych urządzeń, poboru mocy oraz jakości wytworzonego ze zmielonej masy papieru nie pozwala kategorycznie stwierdzić wyższość młyna tarczowego ani stożkowego (Rys. 1a, b) – stąd oba typy są powszechnie stosowane w papierniach.

### Modelowanie procesu mielenia

Modelowanie matematyczne i symulacja w przemyśle papierniczym są wykorzystywane w celu:

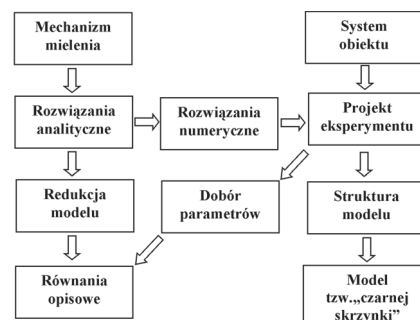
- wyjaśnienia wewnętrznych zjawisk zachodzących w złożonych procesach przetwarzania mas papierniczych (np. opis wielkości zmiennych procesowych).
- wyjaśnienia zewnętrznych zdarzeń procesu (np. obliczenie wartości zmiennych wielkości wyjściowych na podstawie znanych wielkości wejściowych).

Te dwa ujęcia często łączy, bądź miesza się ze sobą w celu pełniejszego opisu całego procesu. Do opisu i obliczania zależności wejścia-wyjścia wskazane są proste modele, podczas gdy w symulacjach wewnętrznych zdarzeń procesu przetwarzania mas papierniczych wymagane są złożone modele poprzedzone numerycznymi obliczeniami.

Jako zakres modelowania zgodnie z wytycznymi przedstawionymi na rys. 2 przyjęto następujące elementy:

1. Zagadnienia technologii obróbki (parametry),
2. Problemy mechaniki obróbki (siły działające na włókna),
3. Pobór mocy (m.in. moce składowe zużywane na poszczególne podprocesy mielenia: cięcie, mielenia właściwe, rafinacja itp.),
4. Jakość masy po mieleniu weryfikowana parametrami wytrzymałościowymi wytwarzanego papieru.

Przebieg mielenia podobnie jak przebieg innych złożonych procesów technologicznych, zależy od wielu czynników, które można podzielić na systemowo-konstrukcyjne związane z układem mielenia i jego wy-

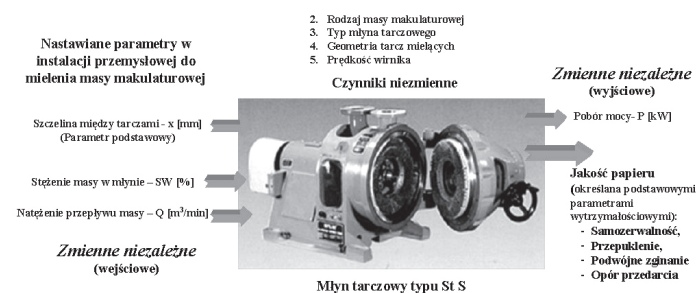


Rys. 2. Wytyczne do modelowania procesu mielenia [6]

posażeniem oraz technologiczne. Do pierwszej grupy czynników należą: stosowany system mielenia (okresowy, ciągły, okresowo-cykliczny), liczba urządzeń mielących i ich podział na zespoły (rafinowanie, mielenie właściwe, domielenie), system połączeń młynów i kadzi oraz charakterystyka stosowanych urządzeń (rodzaj, typ, prędkość obrotowa, elementy mielące itp.). Powyższych czynników nie można zmieniać w trakcie bieżącej eksploatacji układu mielenia bądź też zmiany te byłyby dość skomplikowane w praktycznej realizacji.

Celem niniejszej pracy była identyfikacja czynników technologicznych mielenia (związanymi z pracą pojedynczego młyna). Podjęto próbę budowy modelu jakościowo-energetycznego, który opisywałby przetwarzanie masy papierniczo-makulaturowej w młynie tarczowym. Do najbardziej istotnych parametrów drugiej grupy możemy zaliczyć: właściwości masy makulaturowej (wsadu), natężenie przepływu w przestrzeni roboczej, szczelina między tarczami oraz stężenie masy.

Na rys. 3 przedstawiono tylko te parametry wejściowe, które są najczęściej w trakcie obróbki masy w młynach zmieniane. Przyjęte dodatkowe uproszczenia podyktowane są ograniczeniami z budowy stanowiska badawczego w warunkach przemysłowych.



Rys. 3. Parametry procesu mielenia

Budowa modelu młyna tarczowego obejmuje cztery warstwy:

- Systemową, w której w relacjach z otoczeniem technologicznym przetwórstwa mas papierniczo-makulaturowych zostaną wyróżnione wskaźniki zmiennych najmocniej wpływających na energochłonność;
- Obróbkową – przetwórczą, obejmującą dekompozycję składników bilansu mocy, powinna ujawnić udziały ilościowe i możliwość sterowania zmiennymi obniżającymi energochłonność procesu mielenia;
- Eksperymentalną, która w postępowaniu identyfikacyjnym pozwoli na weryfikację, w warunkach fizycznych, wypracowanego modelu młyna tarczowego, obejmującym większość istotnych zmiennych energochłonności procesu mielenia mas papierniczo-makulaturowych i ich wskaźników.

Równanie działania systemu mielenia mas papierniczo-makulaturowych, aktywnie monitorowanego w kierunku obniżania energochłonności ma postać:

$$L(\bar{H}, \bar{E}, \bar{R}, \Theta, t) = P(\bar{s}, \bar{z}, \Theta, t - t_0) \quad (1)$$

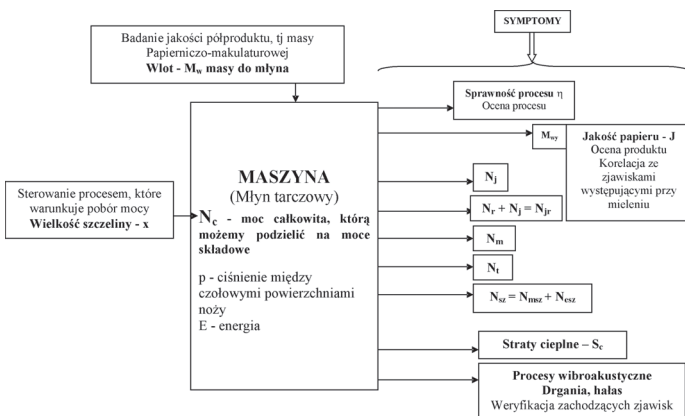
gdzie:

- $\bar{H}$  – charakterystyki działania jako wielkości wyjściowe (energochłonność, efektywność, sprawność, pobór mocy, wydajność itd.),
- $\bar{E}$  – cechy elementów wewnętrznych, wejściowych (cechy konstrukcyjne zespołu roboczego),
- $\bar{R}$  – właściwości wzajemnych relacji elementów (konstrukcji) wewnętrznych (relacje zużywania narzędzi, elementów młyna i rozcierania elementów włóknistych mas papierowo-makulaturowych),
- $\Theta, (t_1 - t_0)$  – czas,
- $\bar{S}$  – sterowanie,
- $\bar{Z}$  – zakłócenia.

Lewa strona równania (1) (modelu) opisuje właściwości procesu mielenia ( $L$ ), jego cechy natury fizycznej, właściwej dla danej klasy działań. Te właściwości zależą od charakterystyk elementów  $E1, E2, \dots, Em$ , wzajemnych powiązań pomiędzy tymi elementami  $R1, R2, \dots, Rn$ , oraz są funkcjami  $\Theta$  i  $t$  (czasu działania i procesu dynamicznego). Niewiadomymi są elementy zbioru charakterystyk  $H$  jako wielkości wyjściowych, od których zależy ocena ogólnej energochłonności, produktowej niejednorodności, procesowej nieskuteczności, zmian wydajności, nieuzasadnionego poboru i charakteru mocy, jednostkowego zużycie energii itd.

Prawa strona równania (1) jest opisem ingerencji wewnętrznej i zewnętrznej. Zależy od postaci świadomego oddziaływania – sterowania za pomocą sygnałów ze zbioru (wspomagane aktywnie), oddziaływania interakcyjnego – wzajemnego oddziaływania zmiennych.

Na rys. 4 przedstawiono schemat modelowy identyfikacji maszyny jako systemu przetwarzania masy papierniczej i energii. Konstrukcję maszyny traktuje się jako obiekt badań. Przyjęto dwa wejścia: 1) dostarczanej energii całkowitej  $E_c$ , której wielkość zależy w tym układzie od wielkości nastawianej szczeliny; 2) masy papierniczo-makulaturowej o określonych właściwościach. Na wyjściu otrzymano symptomy w postaci wynikowej sprawności procesu mielenia, jakości uzyskiwanej masy oraz poszczególnych mocy pobieranych na moce składowe mielenia.



Rys. 4. Model identyfikacji systemu przetwarzania masy papierniczej i energii

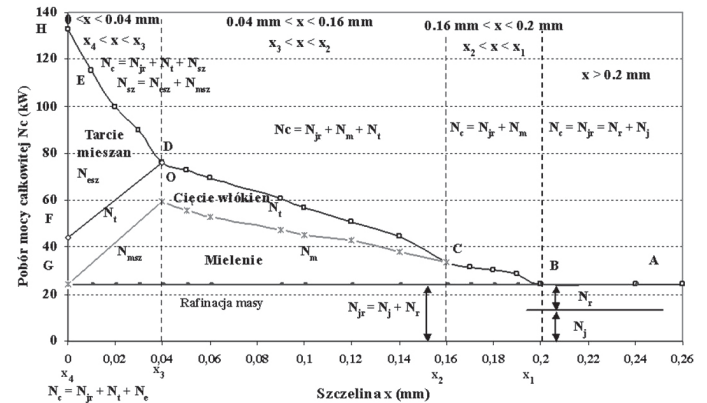
Dodatkowo wyróżniono występujące straty cieplne i inne procesy związane z mieleniem w młynie – drgania i hałas, które posłużą do weryfikacji zjawisk występujących w procesie mielenia [7]:

- $x$  – wielkość szczeliny roboczej (odległość między obracającymi się tarczami),
- $M_w$  – półprodukt masa papierniczo-makulaturowa wsadowa (jej parametry: natężenie przepływu i jakość są stałe),
- $M_{wy}$  – masa przetworzona w młynie o określonych właściwościach, które warunkują jakość ( $J$ ) otrzymywanego papieru,
- $S_c$  – straty cieplne procesu mielenia (pomijalnie małe),
- $J$  – jakość papieru weryfikowana wybranymi parametrami wytrzymałościowymi próbek papieru.

Następujące cząstkowe moce wynikowe określono na podstawie analizy teoretycznej procesu [4, 5]:

- $N_c$  – moc całkowita zależna od  $x$  – szczeliny międzyżożowej, konstrukcji młyna i masy papierniczej (mierzona na wale silnika napędzającego młyn tarczowy),
- $N_j$  – moc biegu jałowego bez masy (dla szczeliny międzyżożowej większej od 0,2 mm),
- $N_{jr} = N_j + N_r$  – moc rafinacji z mocą biegu jałowego (z masą) dla szczeliny  $x > 0,2$  mm,
- $N_r = (N_j + N_r) - N_j$  – moc rafinacji,  $N_{jr} - N_j = N_r$ ,
- $N_m$  – moc mielenia właściwego,
- $N_t$  – moc tnąca – na cięciu włókien z masą,
- $N_e$  – moc tarcia maszynowego,
- $N_{sz}$  – moc zużywana na tarcie mieszane,  $N_{sz} = N_{msz} + N_{esz}$
- $N_{msz}$  – moc zużywana na mielenie jako część mocy na tarcie mieszane
- $N_{esz}$  – moc zużywana na tarcie maszynowe jako część mocy na tarcie mieszane

Przyjęty rozkład mocy procesowych przedstawiono na rys. 5 w postaci funkcji poboru mocy i zmiennej szczeliny  $x$  – krzywa A-B-C-D-E-H. Pozostałe przebiegi mocy procesowych (rafinowanie masy, mielenie właściwe, cięcie włókien, tarcie mieszane) mają charakter teoretyczny. Charakter zmian tych mocy opisano we wcześniejszych pracach [5–7].



Rys. 5. Moc całkowita w funkcji szczeliny międzyżożowej dla młyna tarczowego

## Wnioski

Ciągły rozwój przemysłu papierniczego wymaga od konstruktorów i producentów maszyn mielących coraz doskonalszych urządzeń. Analizując nowości technologiczne oraz patenty dotyczące młynów do mas makulaturowych, w świetle opracowanych podstaw modelowych, można wymienić następujące kierunki rozwojowe dla tego typu maszyn: 1) nowe materiały stosowanych na tarczach mielące, 2) innowacyjny kształt elementów nożowych, 3) ulepszenia systemu mielenia (tarczowy, stożkowy, walcowy), 4) innowacyjną konstrukcją układu wirnik-tarcza (układy wielotarczowe), 5) stosowanie układów automatycznego sterowania procesem (jakość masy – szczelina – pobór mocy), 6) rozwój metod akustycznych i ultradźwiękowych.

## LITERATURA

- [1] J. Czechowski, K. Przybysz: Przegląd Papierniczy, **45**, nr 5, (1989).
- [2] K. Ebeling: International Conference Fundamental Concepts of Refining IPC, September 1980.
- [3] S. Hietanen, K. Ebeling: Paperi ja Puu – Paper and Timber, **72**, nr 2 (1990).
- [4] J. J. Lumiainen: Paper Technology, nr 2, (1997).
- [5] A. Mroziński: Badanie poboru mocy przez zespół rozdrabniający makulaturową masę włóknistą w warunkach zmiennej szczeliny roboczej młyna tarczowego. Rozprawa doktorska, Wydział Mechaniczny ATR Bydgoszcz, 2005.
- [6] A. Mroziński: Journal of POLISH CIMAC **4**, nr 3, 91 (2009).
- [7] A. Mroziński: Ekologia i Technika, **101**, nr 4, 151 (2009).
- [8] J. F. Waterhouse: Refining 97, 4<sup>th</sup> International Refining Conference, Fiuggi, Italy, March 1997.

Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 jako projekt badawczy.