

Marek MACKO

e-mail: mackomar@ukw.edu.pl

Wydział Matematyki, Fizyki i Techniki, Instytut Techniki, Zakład Konstrukcji i Dynamiki Maszyn, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

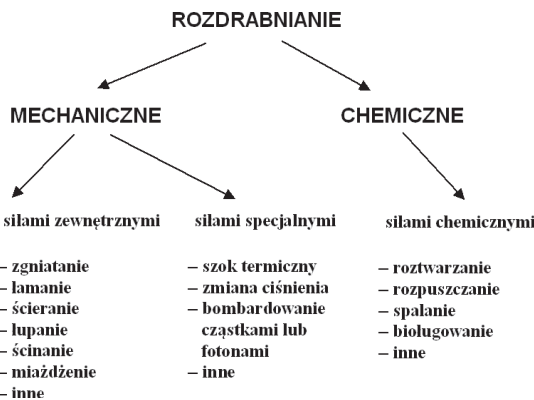
Metoda doboru rozdrabniaczy do materiałów nie-kruchych

Wprowadzenie

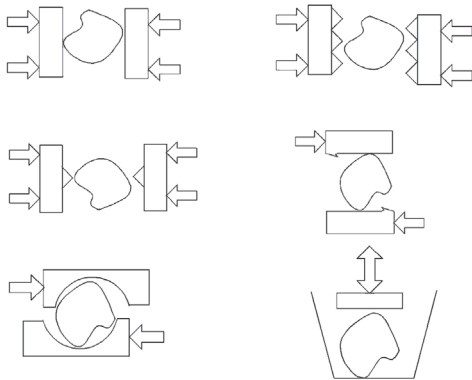
Rozdrabnianie wykorzystywane jest w wielu gałęziach przemysłu. Istotą procesu jest zmniejszenie średniego wymiaru cząstek. W zależności od rodzaju materiału, który ma być poddany procesowi rozdrabniania materiały możemy podzielić na dwie grupy (biorąc pod uwagę właściwości mechaniczne materiału):

- materiały kruche – np. beton, żeliwo, skały,
- materiały plastyczne – ołów, cyna, miedź, niektóre metale, tworzywa polimerowe.

Ta różnorodność powoduje konieczność poszukiwania najbardziej odpowiedniego sposobu rozdrobnienia (Rys. 1, 2).



Rys. 1. Sposoby rozdrabniania



Rys. 2. Wybrane schematy obciążeń występujące w rozdrabniaczach: zgniatanie, łamanie, łupanie, ścieranie, ścinanie, miażdżenie

Przy rozdrabnianiu materiałów nie-kruchych plastycznych występują duże straty energetyczne. Szacuje się, że do 20% energii jest wykorzystywana do właściwego rozdrobnienia, czyli do pokonania sił molekularnych w materiale [1–10]. Reszta energii wykorzystywana jest na odkształcenia plastyczne i tarcie wewnętrzne w próbce. Tak nieefektywne wykorzystanie energii prowadzi do tego, że sprawność całego procesu sięga tylko ok. 10%.

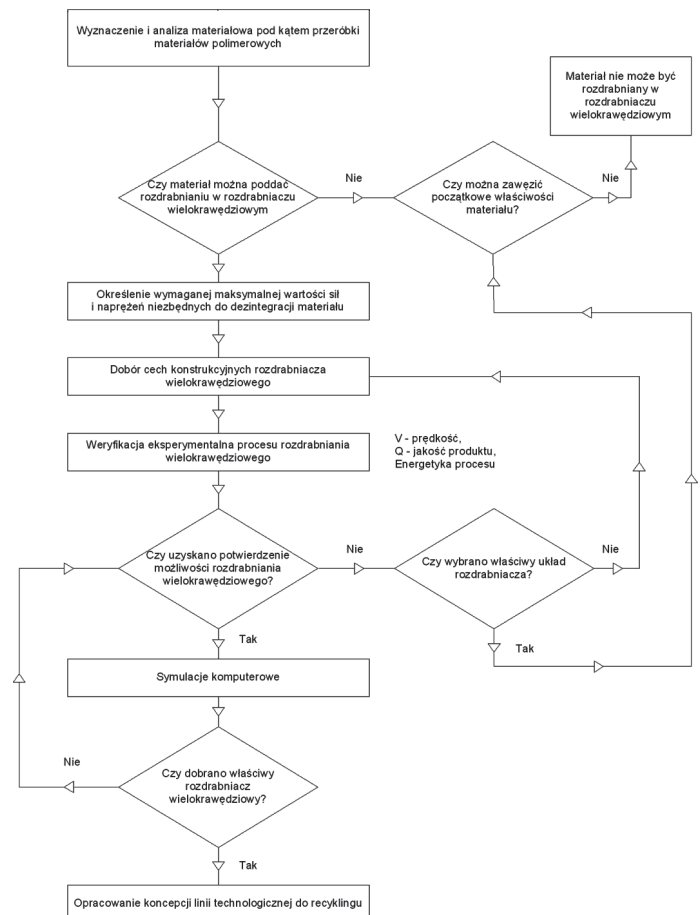
Spośród szerokiej grupy rozwiązań konstrukcyjnych dla materiałów nie-kruchych zasadniczo wybierane są rozdrabniacze, w których dominują naprężenia styczne. Taki rodzaj naprężeń występuje m.in. w rozdrabniaczach nożowych, tarczowych i wielokrawędziowych. Celem pracy jest znalezienie odpowiedzi na pytanie: Jak osiągnąć zadowalający stan w zakresie wysokiej efektywności procesu niezbędny dla

szczegółowego doboru cech konstrukcyjnych dla każdego przypadku tworzyw w recyklingu (PVC, PE, PP)?

Metodyka badań

W badaniach skupiono się na rozdrabniaczach wielokrawędziowych i cechach geometrycznych elementów rozdrabniających.

Zaproponowano ogólny algorytm postępowania (Rys. 3). Szczegółowo zbadano wpływ kąta ostrza i prędkości między elementami rozdrabniającymi. Do tego celu wykorzystano aplikację *SolidWorks* z dodatkowymi aplikacjami towarzyszącymi.



Rys. 3. Algorytm doboru rozdrabniacza do materiałów nie-kruchych

Dobór materiałów wsadowych zrealizowano dzięki istniejącej bibliotece materiałów *SolidWorks*, a i ich właściwości przedstawione zostały w tab. 1 i 2.

Tab. 1. Właściwości wytrzymałościowe polichloru winylu – PVC

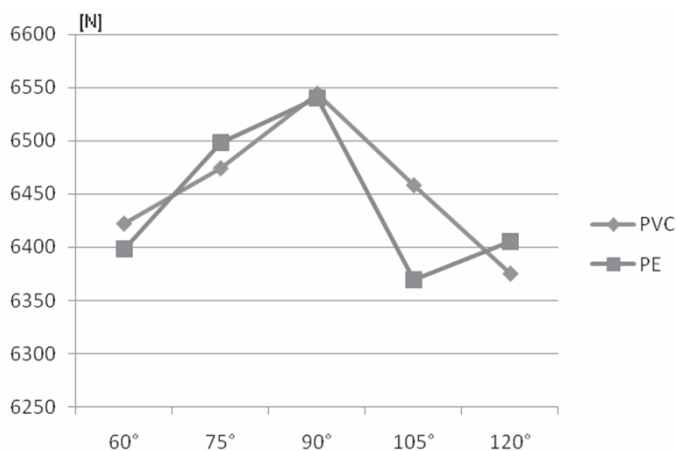
Właściwość	Wartość	Jednostka
Współczynnik sprężystości wzdłużnej	$2,41 \cdot 10^9$	N/m ²
Współczynnik Poissona	0,3825	–
Współczynnik ścinania	$8,667 \cdot 10^8$	N/m ²
Masa właściwa	1300	kg/m ³
Wytrzymałość na rozciąganie	$4,07 \cdot 10^7$	N/m ²

Tab. 2. Właściwości wytrzymałościowe polietylenu – PE

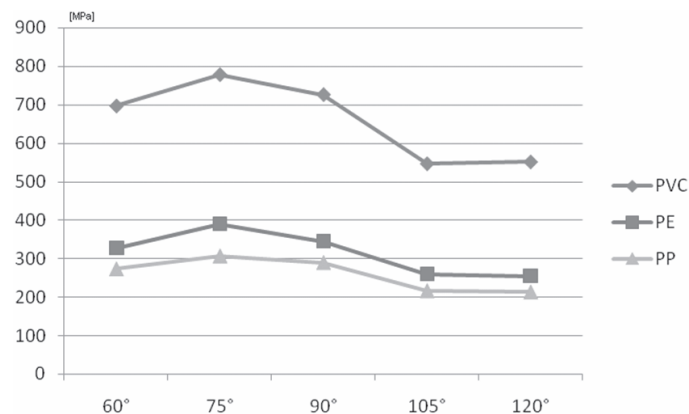
Właściwość	Wartość	Jednostka
Współczynnik sprężystości wzdłużnej	$1,07 \cdot 10^9$	N/m ²
Współczynnik Poissona	0,4101	–
Współczynnik ścinania	$3,72 \cdot 10^7$	N/m ²
Masa właściwa	952	kg/m ³
Wytrzymałość na rozciąganie	$2,21 \cdot 10^7$	N/m ²

Wyniki badań

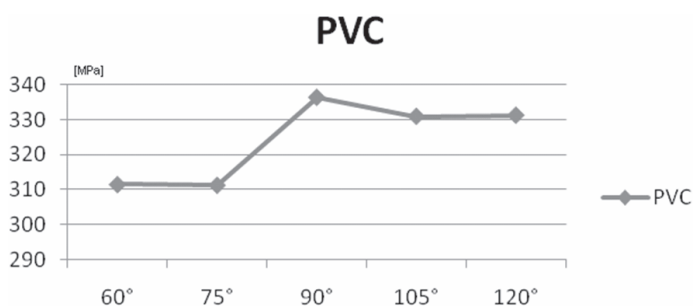
Na podstawie przeprowadzonych badań wykonano wykresy przedstawiające zależności siły i naprężeń dla odpowiednich prędkości listwy środkowej dla obu próbek z obu materiałów oraz dla różnych kątów ostrza (Rys. 4–8).



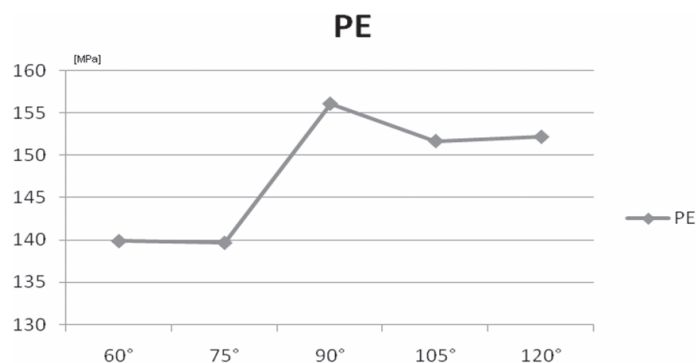
Rys. 4. Wykres dla prędkości 10 mm/s dla próbek z PVC i PE



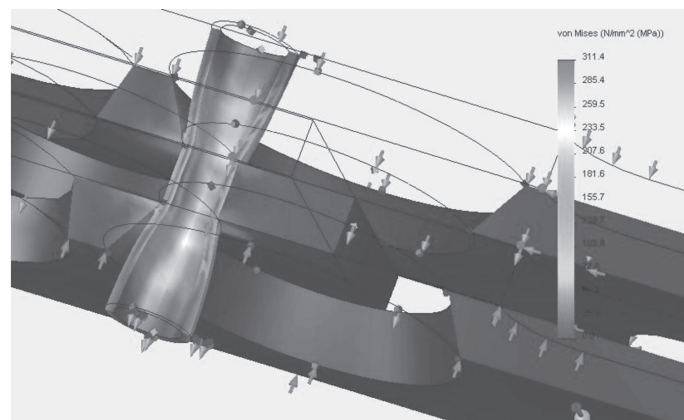
Rys. 5. Wykres maksymalnych naprężeń w próbce o średnicy 20 mm w zależności od kąta ostrza i materiału próbki



Rys. 6. Wykres maksymalnych naprężeń w próbce o średnicy 15 mm wykonanej z PVC



Rys. 7. Wykres maksymalnych naprężeń w próbce o średnicy 15 mm z PE



Rys. 8. Rozkład naprężeń w próbce dla kąta ostrza 60°

Podsumowanie

Pakiet *SolidWorks* umożliwił przeprowadzenie symulacji w kierunku oszacowania sił działających w próbce. Zależności siły od kąta ostrza wskazują, że większa siła będzie potrzebna do zniszczenia próbki za pomocą ostrza o kącie 90°, a mniejsza dla pozostałych. Ponadto wartości siły dla kąta ostrza 60° w porównaniu z kątem ostrza 75° jest mniejsza co również zostało wykazane w eksperymencie. Również interpretacje zależności siły od prędkości listwy środkowej są zgodne z wynikami.

Wartości naprężeń wzrastają dla każdego kolejnego kąta ostrza i tak dla kąta ostrza 60° są najmniejsze, a dla kąta ostrza 120° są największe. Wynik tego badania odbiega od wyników eksperymentu.

LITERATURA

- [1] S. Alvarado, J. Alguerno, H. Auracher, A. Casali: *Energy* **23**, nr 2, 153 (1998).
- [2] S. Sadrai, J. A. Meech, M. Ghomshei, F. Sassani, D. Tromans: *Int. J. of Impact Eng.*, 33 (2006).
- [3] K. Schoenert: *Zem.-Kalk-Gips*. **32**, nr 1, 1 (1979).
- [4] E. D. Stavros, T. Giannis, P. Costas, P. R. Nikos: *Ecol. Ind.*, 4, 125 (2004).
- [5] K. Tanaka: *Energy Policy* 36, 2877 (2008).
- [6] Y. Wang, E. Forssberg: *China Particuology* 5, 193 (2007).
- [7] O. Weger, P. Henseler, L. Bonguilielmi, H. Birkhofer, M. Meier: *Sustainability in the Information Society; 15th Int. Symp. Inf. for Environ. Protection, 2001, ETH Zürich, Switzerland, Umwelt. aktuell.*
- [8] A. R. Womac, M. Yu, C. Igathinathane, P. Ye, D. Hayes, S. Narayan, S. Sokhansanj, L. Wright: *Shearing Characteristics of Biomass for Size Reduction. 2005 ASAE Ann. Int. Meeting*, no. 056058, 07/2005.
- [9] M. Zastempowski: *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* **49**, nr 4, 64 (2004).
- [10] R. Tuunila: *Selection of grinding mill for different kinds of materials. Materials of 12th European Symposium on Comminution and Classification. Espoo, Finland, 2009.*

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009/2011 jako projekt badawczy.