

## ENERGETYCZNE ASPEKTY SONIFIKACJI SUSZU Z MARCHWI

Zbigniew Kobus

*Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych, Akademia Rolnicza w Lublinie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki ekstrakcji ultradźwiękowej suszu z marchwi. Celem przeprowadzonych doświadczeń było zbadanie efektywności procesu ekstrakcji ultradźwiękowej na podstawie ilości wyemitowanej energii odniesionej do jednostkowej masy obrabianego roztworu oraz wyekstrahowanej jednostki suchej masy. Badaniami objęto marchew odmiany Jurga. Susz poddawano obróbce ultradźwiękowej przez czas od 10 do 30 minut. W doświadczeniu użyto generatora ultradźwiękowego o mocy 750W, wytwarzającego falę o częstotliwości 20 kHz i amplitudzie drgań od 14  $\mu\text{m}$  do 28  $\mu\text{m}$ . Najlepsze efekty z energetycznego punktu widzenia uzyskano dla małej amplitudy drgań ultradźwiękowych (14  $\mu\text{m}$ ) i krótkiego czasu sonifikacji (10 minut).

**Słowa kluczowe:** ultradźwięki, energia, jednostkowe nakłady energetyczne, susz marchwiowy

### Wprowadzenie

Fale ultradźwiękowe o dużym natężeniu są wykorzystywane do intensyfikacji wielu procesów w inżynierii żywności [Mason i in. 1996; McClements 1995; Śliwiński 2001]. Jednym z głównych obszarów zastosowania pola akustycznego jest proces ekstrakcji [Leque-Garci'a i in. 2003; Romdhane i in. 2002]. Ultradźwięki indukują wiele zjawisk, które mają pozytywny wpływ na kinetykę procesu: podnoszą temperaturę obrabianego medium, obniżają lepkość, wywołują mikroprzepływy, a przy odpowiednio dobranych parametrach wywołują kawitację. Ekstrakcja ultradźwiękowa znajduje szerokie zastosowanie do separacji różnych substancji organicznych [Hromadkova i in. 2002; Toma i in. 1999; Vinatoru i in. 1999]. W dziedzinie tej zostało przeprowadzonych wiele badań, których celem było zwiększenie wydajności procesu [Hromadkova i in. 2002; Romdhane i in. 2002; Sališová i in. 1997], mniejszy nacisk został położony na badanie przekształceń energii w trakcie obróbki ultradźwiękowej oraz ocenę efektywności procesu z energetycznego punktu widzenia [Löning i in. 2002].

Ilość energii emitowanej do obrabianego medium zależy od wielu różnych czynników. Wśród najbardziej istotnych należy wymienić: lepkość i temperaturę ośrodka, obecność par i gazów w cieczy, koncentrację i wielkość cząsteczek stałych oraz kształt i geometrię komory z cieczą. Poza tym istotne znaczenie ma rodzaj aparatu wykorzystywanego do obróbki ultradźwiękowej i związany z nim sposób regulacji mocy urządzenia. Część aparatów posiada możliwość regulacji amplitudy drgań ultradźwiękowych, która pociąga za sobą zmianę mocy aparatu. Maksymalne ustawienie amplitudy nie oznacza jednak, uzyskania maksymalnej mocy urządzenia. Zadaniem tego typów dezintegratorów jest utrzymanie ustawionej amplitudy drgań, natomiast moc potrzebna do jej osiągnięcia dobierana jest

automatycznie. Wynika stąd, że im większy „opór” próbki (np.: większa lepkość) tym większa jest moc dostarczana do aparatu.

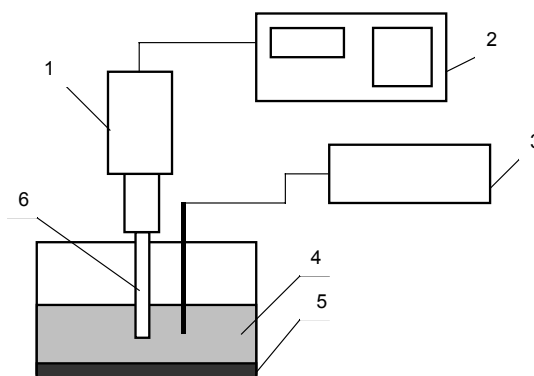
Ponieważ niektóre z wyżej wymienionych parametrów zmieniają się w trakcie prowadzenia procesu pociąga to za sobą zmiany ilości energii wyemitowanej do medium, przy zachowaniu stałej amplitudy drgań ultradźwiękowych. Z tego powodu bardzo istotną rzeczą jest określenie całkowitej ilości energii wyemitowanej do obrabianego medium i wyznaczenie na jej podstawie efektywności procesu ekstrakcji.

## Cel i zakres pracy

Celem pracy było zbadanie efektywności procesu ekstrakcji ultradźwiękowej na podstawie ilości wyemitowanej energii odniesionej do jednostkowej masy obrabianego roztworu oraz wyekstrahowanej jednostki suchej masy.

## Metodyka

Jako surowiec do badań wybrano susz marchwiowy pochodzący z odmiany Jurga. Średnica zastępcza cząstek suszu wahała się w granicach od 3 do 7 mm. Wilgotność początkowa suszu wynosiła 12%. Część surowca została rozdrobniona, a następnie rozdzielona na laboratoryjnym urządzeniu przesiewającym o wymiarach oczek w sitach 1 mm, 0,5 mm i 0,25 mm. W sumie do badań użyto trzech frakcji suszu: pierwsza o wymiarach cząstek od 3 do 7 mm (oznaczana dalej jako frakcja u0), druga pochodząca z przesiania przez sito o wymiarach oczek 1mm (oznaczona dalej jako u1, i trzecia pochodząca z przesiania przez sito o wymiarach oczek 0,5 mm (oznaczona dalej jako u2). Surowiec przed obróbką ultradźwiękową został zalany wodą w stosunku 1:10 (suszu: woda). Do procesu sonifikacji użyto aparatu ultradźwiękowego Sonics VCX 750 (moc 750W) przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat urządzenia do obróbki ultradźwiękowej: 1 – konwerter ultradźwiękowy, 2 – generator z watomierzem, 3 – termopara, 4 – rozpuszczalnik (woda), 5 – susz marchwiowy, 6 – sonda ultradźwiękowa.

Fig. 1. Diagram of ultrasonic processing equipment: 1 – ultrasonic converter, 2 – generator with wattmeter, 3 – thermocouple, 4 – solvent (water), 5 – carrot dried material, 6 – ultrasonic probe

## Energetyczne aspekty...

Czas obróbki ultradźwiękowej wynosił 10, 20 i 30 minut. Zastosowano następujące amplitudy drgań ultradźwięków: 14µm, 21µm i 28µm.

Wyznaczono dwa parametry do energetycznej oceny efektywności procesu ekstrakcji: jednostkowe nakłady energetyczne odniesione do masy roztworu  $N_R$  i jednostkowe nakłady energetyczne odniesione do ilości wyekstrahowanej suchej masy  $N_S$ :

$$N_R = \frac{E}{m_r}$$

$$N_S = \frac{E}{m_{ss}}$$

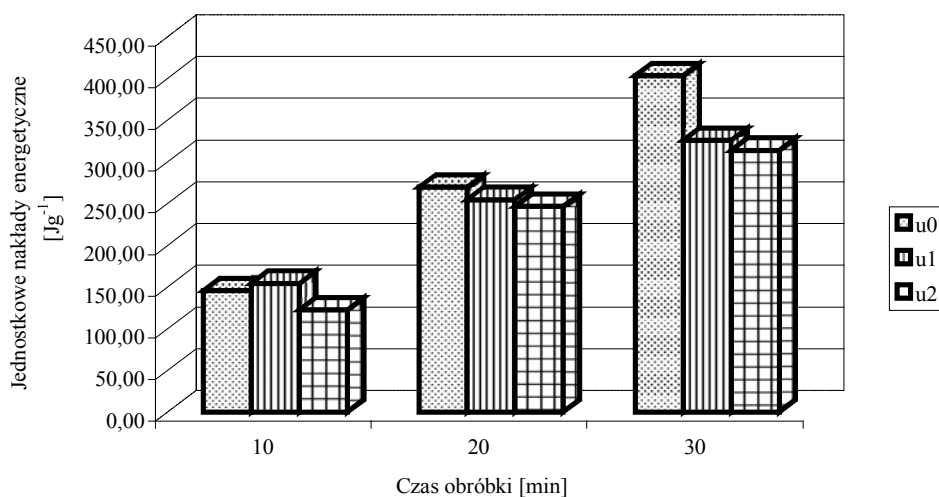
gdzie:

- E – całkowita ilość wyemitowanej energii [J],
- $m_r$  – masa ekstrahowanego roztworu [g],
- $m_{ss}$  – masa wyekstrahowanej suchej substancji [g].

Otrzymane wyniki zweryfikowano statystycznie przeprowadzając analizę wariancji.

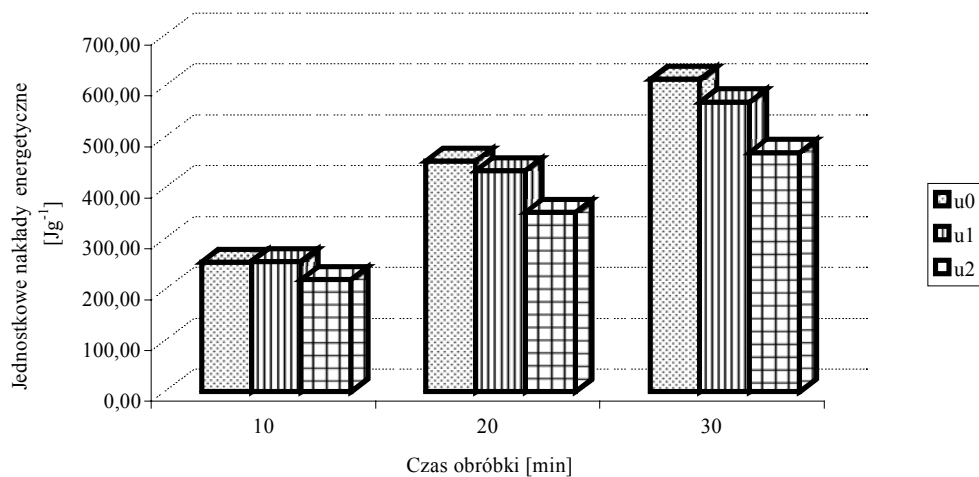
## Wyniki badań

Wyniki wpływu obróbki ultradźwiękowej na zmiany współczynnika  $N_R$  zostały przedstawione na rysunkach 2-4.



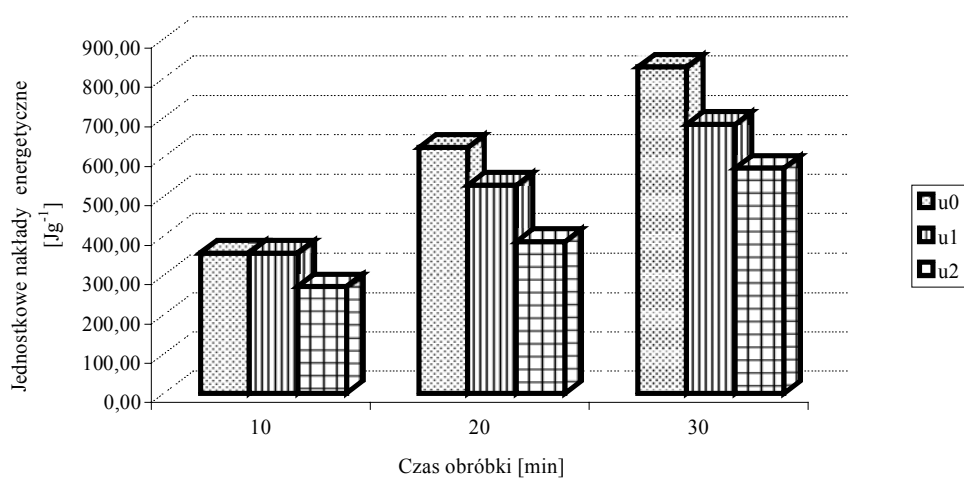
Rys. 2. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 14 µm na jednostkowe zużycie energii odniesione do masy roztworu

Fig. 2. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 14 µm on unitary energy consumption related to solution mass



Rys. 3. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie  $21 \mu\text{m}$  na jednostkowe zużycie energii odniesione do masy roztworu

Fig. 3. Influence of ultrasonic processing with amplitude of  $21 \mu\text{m}$  on unitary energy consumption related to solution mass



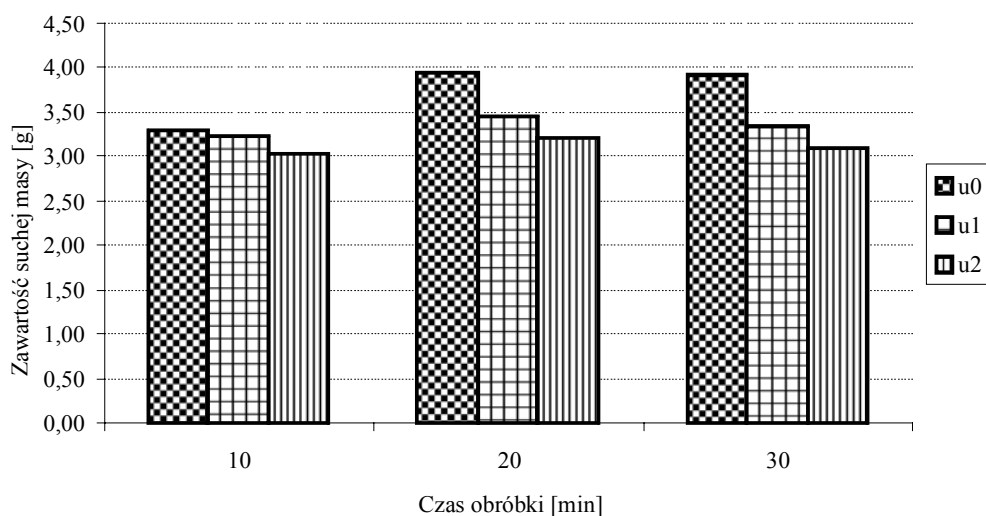
Rys. 4. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie  $28 \mu\text{m}$  na jednostkowe zużycie energii odniesione do masy roztworu

Fig. 4. Influence of ultrasonic processing with amplitude of  $28 \mu\text{m}$  on unitary energy consumption related to solution mass

Analiza zmian współczynnika  $N_R$  pokazuje istotne znaczenie stopnia rozdrobnienia surowca na proces ekstrakcji ultradźwiękowej. Największe wartości współczynnika  $N_R$  uzyskano przy materiale pochodzącym z frakcji u0, najmniejsze zaś dla materiału o najmniejszej średnicy cząstek (frakcja u2). Świadczy to o występowaniu większego oporu w roztworze zawierającym cząstki o większej średnicy zastępczej. Skutkuje to większym zapotrzebowaniem na energię akustyczną.

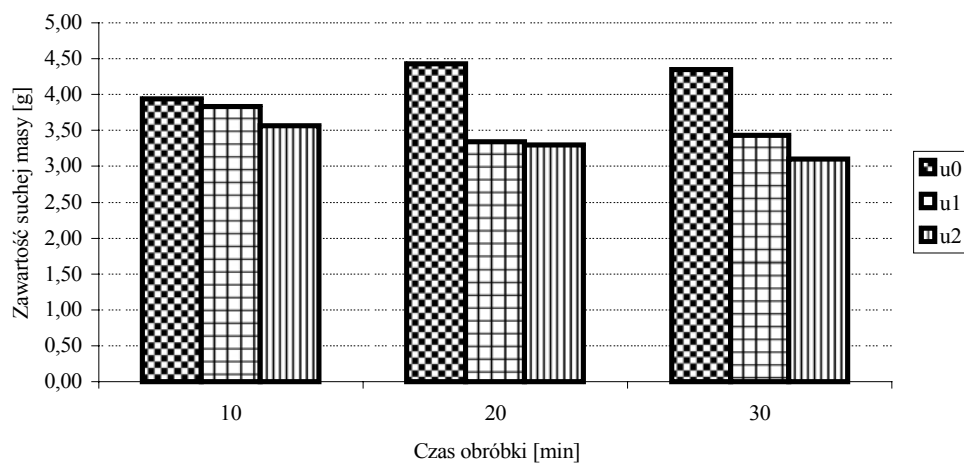
W celu dalszego śledzenia zmian wywołanych obecnością ultradźwięków w trakcie procesu ekstrakcji wyznaczono całkowitą ilość wyekstrahowanej suchej masy. Zmiany te pokazano na rysunkach 5–7.

W przypadku ilości wyekstrahowanej suchej masy również istotne znaczenie miał stopień rozdrobnienia surowca. Największą wydajność procesu uzyskano przy najmniejszym stopniu rozdrobnienia (frakcja u0). Był to nieoczekiwany efekt, ponieważ spodziewać by się można, że większy stopień rozdrobnienia surowca powinien sprzyjać lepszemu wylugowaniu suchej substancji z surowca. Przyczyną tego zjawiska są dwa podstawowe czynniki. Po pierwsze większa ilość energii wyemitowanej do frakcji o mniejszym stopniu rozdrobnienia (frakcji u). Po drugie większy współczynnik rehydratacji w przypadku frakcji o większym stopniu rozdrobnienia (frakcje u1 i u2) [Kobus 2006]. To powodowało, że część pierwotnie wylugowanej substancji rozpuszczalnej została ponownie wchłonięta (w większym stopniu w przypadku frakcji u1, u2) wraz z rozpuszczalnikiem przez cząstki surowca w wyniku procesów pęcznienia.



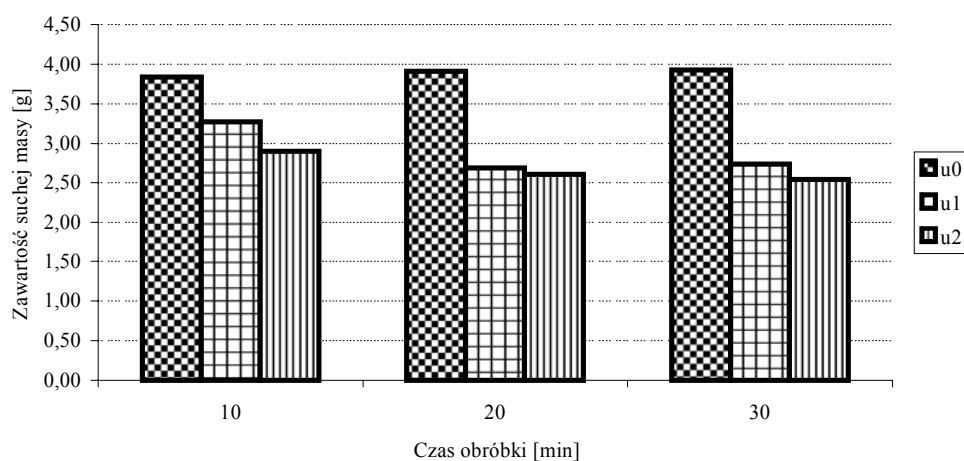
Rys. 5. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 14  $\mu\text{m}$  na ilość wyekstrahowanej suchej masy

Fig. 5. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 14  $\mu\text{m}$  on amount of extracted dry matter



Rys. 6. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 21  $\mu\text{m}$  na ilość wyekstrahowanej suchej masy

Fig. 6. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 21  $\mu\text{m}$  on amount of extracted dry matter

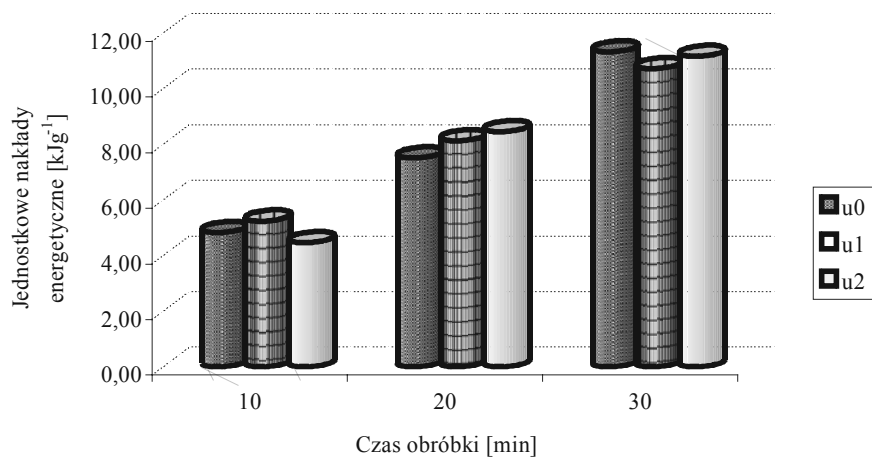


Rys. 7. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 28  $\mu\text{m}$  na ilość wyekstrahowanej suchej masy

Fig. 7. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 28  $\mu\text{m}$  on amount of extracted dry matter

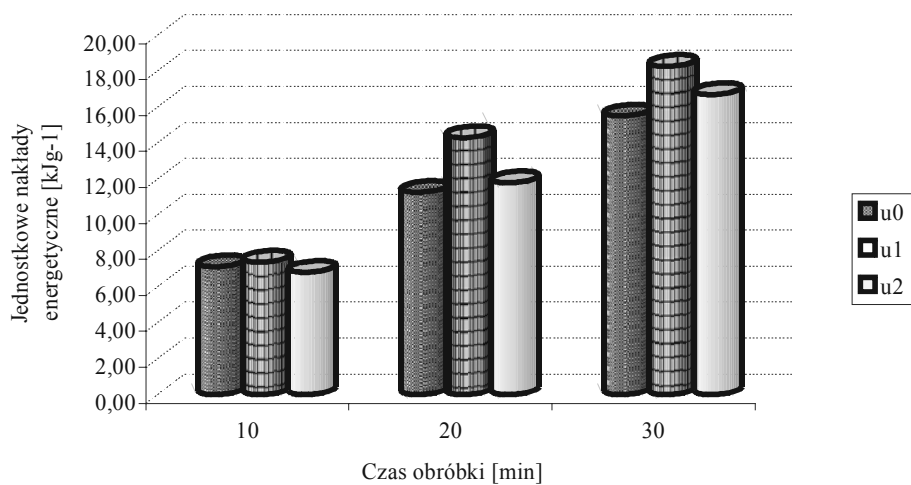
Zaobserwowane zmiany w ilości wyemitowanej energii akustycznej i otrzymanej ilości suchej masy postanowiono wyrazić w postaci jednego parametru określonego mianem  $N_S$  (rysunki 8-10).

## Energetyczne aspekty...



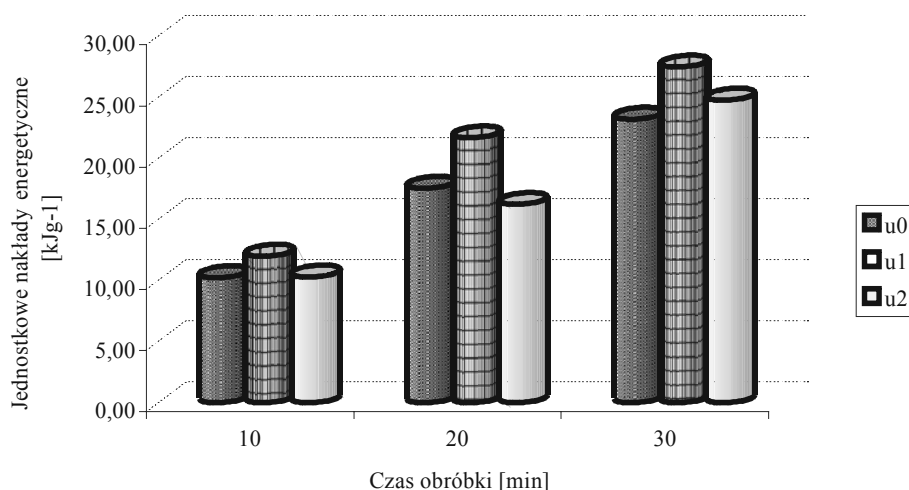
Rys. 8. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 14  $\mu\text{m}$  na jednostkowe nakłady energetyczne odniesione do jednostki wyekstrahowanej suchej masy

Fig. 8. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 14  $\mu\text{m}$  on unitary power outlays related to extracted dry matter unit



Rys. 9. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie 21  $\mu\text{m}$  na jednostkowe nakłady energetyczne odniesione do jednostki wyekstrahowanej suchej masy

Fig. 9. Influence of ultrasonic processing with amplitude of 21  $\mu\text{m}$  on unitary power outlays related to extracted dry matter unit



Rys. 10. Wpływ obróbki ultradźwiękowej o amplitudzie  $28\ \mu\text{m}$  na jednostkowe nakłady energetyczne odniesione do jednostki wyekstrahowanej suchej masy.

Fig. 10. Influence of ultrasonic processing with amplitude of  $28\ \mu\text{m}$  on unitary power outlays related to extracted dry matter unit.

Parametr ten najlepiej oddaje efektywność procesu ekstrakcji z energetycznego punktu widzenia. W przypadku najmniejszej amplitudy drgań stopień rozdrobienia surowca nie ma istotnego wpływu na wielkość parametru  $N_S$ . W przypadku wyższych amplitud pojawiają się istotne różnice w wielkości parametru  $N_S$ . Najmniej korzystny jest średni stopień rozdrobienia materiału (frakcja u1), dla której uzyskano najwyższe wartości  $N_S$ . Różnice pomiędzy frakcjami u0 i u2 są nieistotne. Wzrost czasu obróbki ultradźwiękowej oraz amplitudy drgań powoduje znaczący wzrost jednostkowych nakładów energetycznych  $N_S$ .

## Wnioski

1. Stopień rozdrobienia surowca ma istotny wpływ na ilość energii akustycznej emitowanej do obrabianego medium. Największe nakłady energetyczne przeliczone na jednostkę masy obrabianego roztworu ( $N_R$ ) występują w przypadku najmniejszego stopnia rozdrobienia (frakcja u0).
2. Najlepsze efekty z energetycznego punktu widzenia w przypadku ekstrakcji suchej masy z sushu marchwiowego uzyskano przy małej amplitudzie drgań ultradźwiękowych ( $14\ \mu\text{m}$ ) i krótkim czasie obróbki ultradźwiękowej (10 minut). Dla wyżej wymienionych zmiennych otrzymano najniższe wartości parametru  $N_S$ .



## Bibliografia

- Hromadkova Z., Ebringerova A., Valachovic P. 2002.** Ultrasound – assisted extraction of water-soluble polysaccharides from the roots of valerian (*Valeriana Officinalis L.*) *Ultrasonics Sonochemistry* 9. s. 37-44.
- Kobus Z.** 2006. Wpływ obróbki ultradźwiękowej na proces nawilżania suszu z marchwi. *Inżynieria Rolnicza* 7(82). s. 247-253.
- Leque-Garci'a J.L., Leque de Castro M. D.** 2003. Ultrasound: a powerful tool for leaching. *Trends in Analytical Chemistry* 1. s. 41-47.
- Löning J.-M., Horst Ch, Hoffmann U.** 2002. Investigation on the energy conversion in sonochemical processes. *Ultrasonics Sonochemistry* 9. s. 169-179.
- Mason T. J., Paniwnyk L., Lorimer J. P.** 1996. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry* 3. s. 253-261.
- McClements D. J.** 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science and Technology* s. 293-299.
- Romdhane M., Gourdon C.** 2002. Investigation in solid-liquid extraction: influence of ultrasound, *Chemical Engineering Journal* 87. s. 11-19.
- Sališová M., Toma M., Mason T.J.** 1997. Comparison of conventional and ultrasonically assisted extractions of pharmaceutically active compounds from *Salvia officinalis*. *Ultrasonics Sonochemistry* 4. s. 131-134.
- Śliwiński A.** 2001. *Ultradźwięki i ich zastosowanie*. WNT, Warszawa. ISBN 83-204-2567-0
- Toma M., Vinatoru M., Paniwnyk L., Mason T.J.** 1999. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissue during solvent extraction. *Ultrasonics Sonochemistry* 8. s. 137-142.
- Vinatoru M., Toma M., Mason T.J.** 1999. Ultrasonically assisted extraction of bioactive principles from plants and the constituents. *Advances in Sonochemistry* 5. s. 216.

## THE ENERGY ASPECTS OF SONIFICATION OF CARROT DRIED MATERIAL

**Summary.** The paper presents the results of ultrasonic extraction of carrot dried material. The purpose of the performed experiments was to test effectiveness of the ultrasonic extraction process based on the volume of emitted energy related to the unit mass of the processed solution and extracted dry matter unit. The studies covered carrot of Jurga variety. The dried material was put to ultrasonic processing for 10 to 30 minutes. In the experiment 750W ultrasonic generator was used, generating a wave with a frequency of 20 kHz and amplitude of vibrations from 14  $\mu\text{m}$  to 28  $\mu\text{m}$ . The best effects considering energy was achieved for small amplitude of ultrasonic vibrations (14  $\mu\text{m}$ ) and short time of sonification (10 minutes).

**Key words:** ultrasounds, energy, unitary power outlays, carrot dried material

**Adres do korespondencji:**

Zbigniew Kobus; e-mail: [zbigniew.kobus@ar.lublin.pl](mailto:zbigniew.kobus@ar.lublin.pl)  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Akademia Rolnicza w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-236 Lublin