

Arkadiusz Ratajski, Andrzej Wesółowski  
Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## WPŁYW OBRÓBKI TERMICZNEJ ZIEMNIAKÓW NA PRĘDKOŚĆ PROPAGACJI FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów prędkości propagacji fali ultradźwiękowej w ziemniakach suszonych konwekcyjnie. Pomiarów dokonywano w trakcie procesu suszenia za pomocą 50 kHz głowic ultradźwiękowych współpracujących z komputerem PC wyposażonym w kartę defektoskopu ultradźwiękowego UMT-12. Otrzymane wyniki porównano z krzywymi kinetyki suszenia.

**Słowa kluczowe:** ultradźwięki, prędkość propagacji fali

### Wykaz symboli

- $\tau$  – czas suszenia [min];  
 $m_0$  – masa początkowa [g];  
 $\Delta m$  – przyrost masy [g];  
 $m_s$  – masa suchej substancji [g];  
 $s$  – wysokość próbki [mm];  
 $t$  – czas przejścia fali ultradźwiękowej przez próbkę [ $\mu$ s];  
 $u(\tau)$  – zawartość wody [ $\text{kg}_{\text{wody}}/\text{kg}_{\text{ss}}$ ];  
 $V$  – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w materiale [m/s];

### Wprowadzenie

Ze względu na wysokie koszty związane z tradycyjnymi metodami oceny stanu produktów żywnościowych i rosnące wymagania konsumentów dotyczące ich jakości coraz większego znaczenia nabierają nieniszczące metody badań. Jedną z metod pozwalających na nieinwazyjną ocenę jakości może być wykorzystanie ultradźwięków.

Metody tego typu są już szeroko stosowane w defektoskopii metali oraz diagnostyce medycznej. W niektórych gałęziach przemysłu okazały się jednymi z najbardziej znaczących i efektywnych metod oceny stanu surowców, półproduktów oraz wyrobów końcowych [Śliwiński 2001].

W technice rolniczej natomiast zastosowanie ultradźwięków ogranicza się najczęściej do modyfikacji własności produktów spożywczych. Ograniczone zastosowanie tego typu metod do oceny jakości wynika przede wszystkim ze złożonej struktury i niejednorodności materiałów biologicznych.

### **Cel badań**

Celem badań było stwierdzenie czy istnieje związek pomiędzy prędkością propagacji fali ultradźwiękowej, a zawartością wody w suszonych ziemniakach.

### **Metodyka**

W celu określenia kinetyki suszenia przeprowadzono konwekcyjne suszenie próbki ziemniaka przy wykorzystaniu suszarki uniwersalnej typu SUP 3. Średnia temperatura powietrza w suszarce wynosiła 60°C. Pomiary ubytków masy dokonywano na stanowisku badawczym w skład, którego wchodziła waga elektroniczna Medicat 1600C pozwalająca na pomiar masy z dokładnością do 0,01 g połączona z komputerem PC. Specjalne oprogramowanie pozwalało na automatyczną rejestrację ubytków masy. Zawartość wody wyznaczano z zależności (1). Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 1.

$$u(\tau) = \frac{m_0 - \Delta m - m_s}{m_s} \quad (1)$$

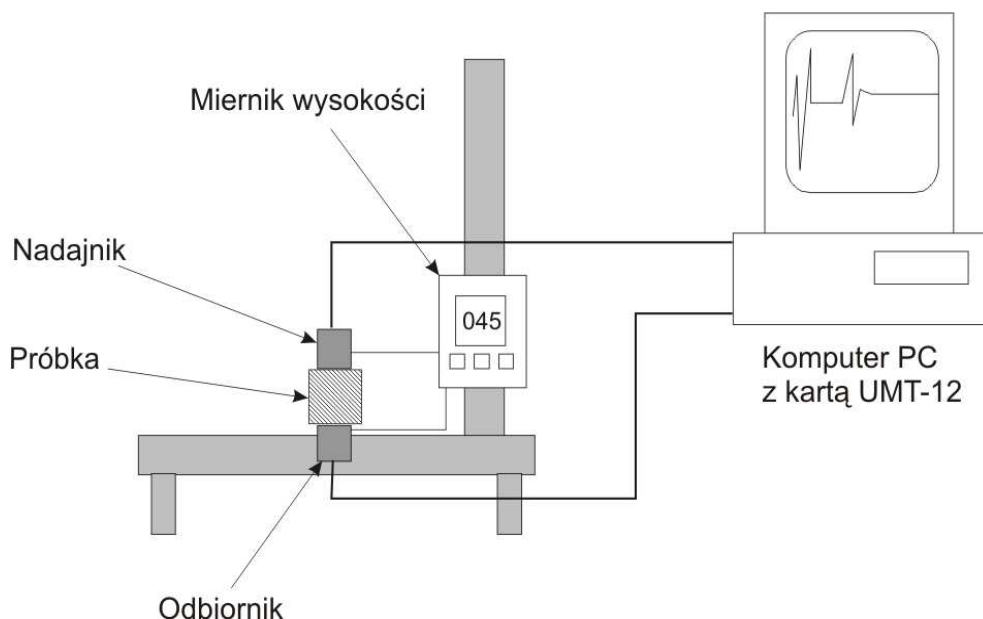
W trakcie procesu suszenia co 60 min. dokonywano pomiarów czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez badany materiał (tabela 1). Pomiary powtarzano trzykrotnie wykorzystując metodę „zero-crossing”. Wykorzystano do tego celu głowice emitujące podłużne fale ultradźwiękowe o częstotliwości 50 kHz. Współpracowały one z kartą defektoskopu ultradźwiękowego UMT 12 umieszczoną w komputerze PC wyposażonym w specjalistyczne oprogramowanie.

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń  
Table 1. Comparing measurement and calculation results

nr próby	czas pomiaru $\tau$ [min]	zawartość wody $u(t)$ [kg <sub>wod</sub> /kg <sub>ss</sub> ]	czas przejścia $t$ [ $\mu$ s]	droga $s$ [mm]	prędkość $V$ [m/s]
1	0	3,76	113,08 $\pm$ 0,2	49,94 $\pm$ 0,11	441,6 $\pm$ 1,26
2			113,52 $\pm$ 0,2	51,62 $\pm$ 0,14	454,7 $\pm$ 1,46
3			135,52 $\pm$ 0,2	51,54 $\pm$ 0,23	380,3 $\pm$ 1,77
1	60	3,43	111,04 $\pm$ 0,2	49,21 $\pm$ 0,06	443,2 $\pm$ 0,97
2			109,26 $\pm$ 0,2	50,62 $\pm$ 0,13	463,3 $\pm$ 1,49
3			128,37 $\pm$ 0,2	50,68 $\pm$ 0,23	394,8 $\pm$ 1,91
1	120	3,13	109,08 $\pm$ 0,2	48,25 $\pm$ 0,20	442,3 $\pm$ 1,98
2			108,41 $\pm$ 0,2	49,76 $\pm$ 0,10	459,0 $\pm$ 1,25
3			125,08 $\pm$ 0,2	49,39 $\pm$ 0,42	394,8 $\pm$ 3,38
1	180	2,85	109,93 $\pm$ 0,2	47,14 $\pm$ 0,03	428,8 $\pm$ 0,81
2			108,59 $\pm$ 0,2	48,78 $\pm$ 0,10	449,2 $\pm$ 1,26
3			123,26 $\pm$ 0,2	48,35 $\pm$ 0,14	392,3 $\pm$ 1,28
1	240	2,59	107,26 $\pm$ 0,2	45,90 $\pm$ 0,17	427,9 $\pm$ 1,82
2			105,93 $\pm$ 0,2	47,78 $\pm$ 0,22	451,1 $\pm$ 2,28
3			119,25 $\pm$ 0,2	46,32 $\pm$ 2,28	388,4 $\pm$ 19,09
1	300	2,36	102,37 $\pm$ 0,2	44,80 $\pm$ 0,16	437,6 $\pm$ 1,78
2			103,04 $\pm$ 0,2	46,99 $\pm$ 0,28	456,1 $\pm$ 2,83
3			115,26 $\pm$ 0,2	46,68 $\pm$ 0,38	405,0 $\pm$ 3,39
1	360	2,15	105,48 $\pm$ 0,2	44,03 $\pm$ 0,30	417,5 $\pm$ 3,00
2			102,59 $\pm$ 0,2	46,13 $\pm$ 0,21	449,7 $\pm$ 2,26
3			121,26 $\pm$ 0,2	45,72 $\pm$ 0,35	377,0 $\pm$ 2,94
1	420	1,96	104,81 $\pm$ 0,2	43,27 $\pm$ 0,36	412,8 $\pm$ 3,49
2			100,15 $\pm$ 0,2	45,05 $\pm$ 0,11	449,8 $\pm$ 1,45
3			120,15 $\pm$ 0,2	44,90 $\pm$ 0,27	373,7 $\pm$ 2,34
1	480	1,78	99,70 $\pm$ 0,2	39,08 $\pm$ 0,69	391,9 $\pm$ 6,97
2			98,59 $\pm$ 0,2	41,57 $\pm$ 0,73	421,6 $\pm$ 7,43
3			111,70 $\pm$ 0,2	41,10 $\pm$ 0,26	367,9 $\pm$ 2,45
1	540	1,62	114,37 $\pm$ 0,2	38,12 $\pm$ 0,77	333,3 $\pm$ 6,74
2			95,70 $\pm$ 0,2	40,70 $\pm$ 0,87	425,2 $\pm$ 9,17
3			104,59 $\pm$ 0,2	39,80 $\pm$ 0,22	380,5 $\pm$ 2,19
1	600	1,48	89,04 $\pm$ 0,2	31,45 $\pm$ 0,87	353,2 $\pm$ 9,77
2			86,37 $\pm$ 0,2	36,04 $\pm$ 0,98	417,3 $\pm$ 11,38
3			98,80 $\pm$ 0,2	36,16 $\pm$ 0,43	366,0 $\pm$ 4,43
1	660	1,34	93,04 $\pm$ 0,2	30,06 $\pm$ 0,70	323,1 $\pm$ 7,50
2			93,93 $\pm$ 0,2	34,98 $\pm$ 0,94	372,4 $\pm$ 10,03
3			103,70 $\pm$ 0,2	34,57 $\pm$ 0,48	333,3 $\pm$ 4,66
1	720	1,21	85,93 $\pm$ 0,2	24,76 $\pm$ 1,18	288,1 $\pm$ 13,69
2			89,93 $\pm$ 0,2	29,52 $\pm$ 0,35	328,2 $\pm$ 3,99
3			89,93 $\pm$ 0,2	25,56 $\pm$ 0,51	284,2 $\pm$ 5,70

Układ pomiarowy (rys. 1) składał się dwóch głowic ultradźwiękowych wykorzystujących odwrotne zjawisko piezoelektryczne. Pomiary wykonywano metodą przejścia. Do badań użyto bulw ziemniaków ogólnie dostępnych w handlu detalicznym. Próbki wykonano z losowo wybranych bulw ziemniaków wycinając z nich elementy prostopadłościennie w taki sposób, aby zapewnić równoległość dwóch przeciwległych powierzchni pomiarowych. Średnia początkowa wysokość próbek wynosiła  $51 \pm 0,2$  mm, co odpowiadało drodze przebytej przez falę ultradźwiękową. Skurcz suszarniczy materiału powodował deformacje jego powierzchni, czego konsekwencją była zmiana wysokości próbki. Prędkość propagacji fali wyznaczono z zależności (2). Wyniki pomiarów wysokości próbek i obliczone prędkości zamieszczono w tabeli 1.

$$V = \frac{s}{t} \cdot 10^3 \quad [m/s] \quad (2)$$



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego  
Fig. 1. Research stand diagram

## Wyniki badań i ich analiza

Badania przerwano po 12 godzinach ponieważ odkształcenia materiału spowodowane skurczem suszarniczym uniemożliwiły pomiary ultradźwiękowe. Wygląd próbek w momencie przerywania pomiarów pokazano na rys. 2.



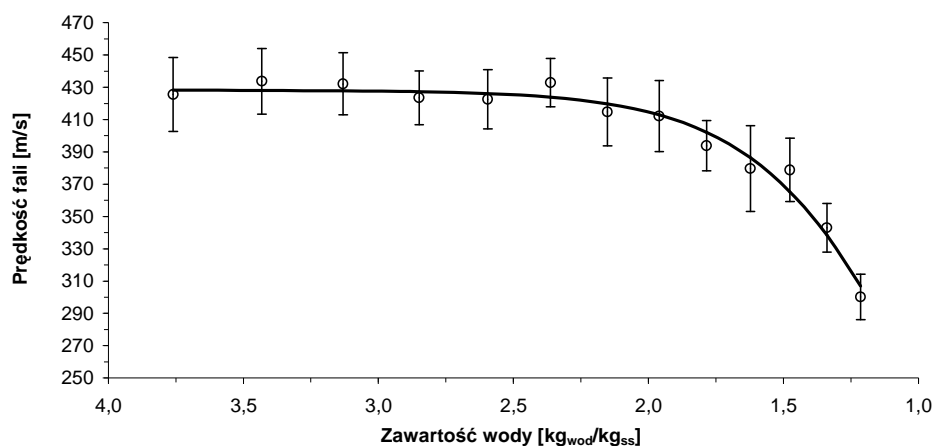
Rys. 2. *Próbki po przzerwaniu pomiarów*

Fig. 2. *Samples after stopping the measurement*

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zawartości wody w suszonych ziemniakach wyznaczono krzywą suszenia i krzywą szybkości suszenia. Krzywe te porównano z charakterystyką prędkości fali ultradźwiękowej w badanym materiale. Na rys. 3 pokazano związek pomiędzy średnią prędkością przejścia fali i zawartością wody w materiale. Punkty pomiarowe aproksymowano krzywą postaci (3) ze współczynnikiem korelacji 0,986:

$$y = \frac{a}{1 + b \cdot e^{c \cdot x}} \quad (3)$$

Przebieg pokazanej krzywej w zakresie 3,8 kg<sub>wody</sub>/kg<sub>s.s.</sub> do ok. 2,25 kg<sub>wody</sub>/kg<sub>s.s.</sub> świadczy o niewielkich zmianach tej prędkości. Po przekroczeniu wartości 2,25 kg<sub>wody</sub>/kg<sub>s.s.</sub> widoczny jest gwałtowny spadek prędkości fali.



Rys. 3. Prędkość fali w funkcji zawartości wody

Fig. 3. Wave speed as the function of water contents

W celu określenia przyczyny tego spadku sporządzono wykres (rys. 4) przedstawiający krzywą suszenia w postaci (4) aproksymującą punkty pomiarowe ze współczynnikiem korelacji 0,999 i krzywą prędkości fali w postaci (5) aproksymującą punkty pomiarowe ze współczynnikiem korelacji 0,967.

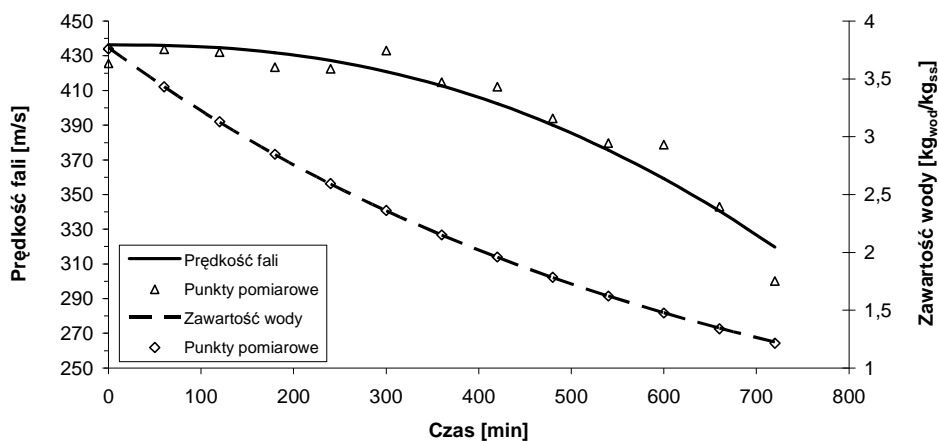
$$y = d \cdot e^{f \cdot x} \quad (4)$$

$$y = \frac{g \cdot h + i \cdot x^j}{h + x^j} \quad (5)$$

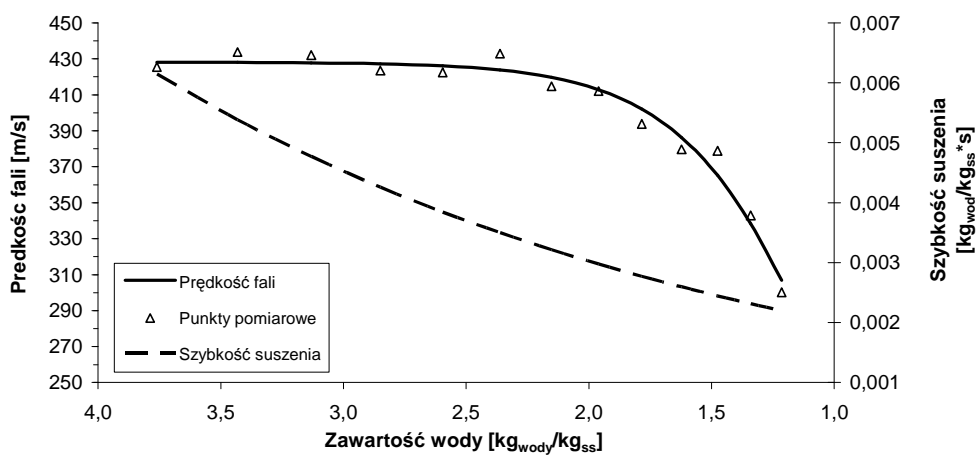
Przebieg krzywych nie pozwala na określenie przyczyn nagłego spadku prędkości fali wynikających z czasu trwania procesu. Ponieważ jednak z czasem trwania procesu suszenia ściśle związana jest zmiana zawartości wody w materiale sporządzono wykres (rys. 5). Obrazuje on krzywą szybkości suszenia w postaci (6) oraz krzywą prędkości fali (3) w zależności od zawartości wody w badanym materiale.

$$y = d \cdot f \cdot e^{f \cdot x} \quad (6)$$

Analiza ich przebiegu również nie daje podstaw do uzależnienia zmian prędkości propagacji fali ultradźwiękowej od zawartości wody w suszonym materiale.



Rys. 4. Zmiany prędkości fali i zawartości wody w czasie  
 Fig. 4. Changes in the wave speed and water contents in time



Rys. 5. Prędkość propagacji fali i prędkość suszenia w funkcji zawartości wody  
 Fig. 5. Wave propagation speed and the drying speed as the function of water contents

### **Wnioski**

1. W badanym zakresie stwierdzono istnienie zależności pomiędzy prędkością propagacji fali ultradźwiękowej, a zawartością wody w suszonych konwekcyjnie ziemniakach
2. Gwałtowny spadek prędkości propagacji fali ultradźwiękowej nie jest bezpośrednio wywołany zmianą zawartości wody w suszonym materiale.
3. Zastosowana metoda pomiarów ultradźwiękowych ma ograniczone zastosowanie w przypadku materiałów ulegających deformacji spowodowanej skurczem suszarniczym, a więc materiałów o dużej, początkowej zawartości wody.

### **Bibliografia**

Śliwiński A. 2001. Ultradźwięki i ich zastosowania. WNT. Warszawa

## **INFLUENCE OF POTATO THERMAL PROCESSING ON THE ULTRASOUND WAVE PROPAGATION SPEED**

### **Summary**

The work presents the results of measurements regarding the supersonic wave propagation in potatoes dried with convection drying. The measurements were done during the drying process with 50 kHz supersonic transducers cooperating with a supersonic flaw detector card UMT-12. The obtained results were compared with the drying kinesis curves.

**Key words:** ultrasound, wave propagation speed