

## WPŁYW NAPRĘŻEŃ W MIĘSIE MIELONYM NA PRĘDKOŚĆ I AMPLITUDĘ FALI ULTRADŹWIĘKOWEJ

Andrzej Wesołowski

*Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki pomiarów prędkości propagacji fali ultradźwiękowej oraz amplitudy sygnału odbieranego, w zależności od naprężeń wywołanych w mięsie mielonym. Do badań użyto pary głowic ultradźwiękowych fali podłużnej z przetwornikami o częstotliwości 2 MHz. Materiał poddawano naprężeniom z zakresu 0 MPa – 25 MPa. W wyniku analizy otrzymanych danych w rozpatrywanym zakresie stwierdzono wprost proporcjonalną zależność pomiędzy amplitudą fali ultradźwiękowej po przejściu przez badane mięso mielone, a naprężeniami w nim wywołanymi. W zakresie tym nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnej zależności pomiędzy prędkością propagacji fali ultradźwiękowej, a naprężeniami w badanym materiale.

**Słowa kluczowe:** ultradźwięki, mięso mielone, prędkość fali ultradźwiękowej, amplituda fali ultradźwiękowej, naprężenia

### Wykaz oznaczeń

$c$  – prędkość propagacji fali ultradźwiękowej [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ],  
 $s$  – odległość przebyta w materiale przez falę ultradźwiękową [m],  
 $t$  – czas przejścia przez falę ultradźwiękową pomiędzy głowicami [s],  
 $\sigma$  – naprężenia ściskające w materiale [MPa],  
 $A$  – amplituda fali [V].

### Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój przemysłu spożywczego oraz rosnące wymagania klientów pociągają za sobą rosnące wymagania w stosunku do metod kontroli jakości produktów. Metody te powinny zapewniać szybką i prostą ocenę właściwości fizyko-chemicznych niezbędnych do oceny jakości produktów spożywczych, a ponadto nie powinny powodować ich zniszczenia lub uszkodzenia [Pawłowski 1984]. Nieniszczące badania ultradźwiękowe w dużej mierze mogą spełnić te oczekiwania. Mają one przewagę nad dotychczas stosowanymi metodami analitycznymi. Są badaniami nieinwazyjnymi, szybkimi, precyzyjnymi, stosunkowo niedrogimi, pozwalającymi na badania produktów znajdujących w zamkniętych, nieprzeźroczystych pojemnikach [Llull i in. 2002]. Oprócz tego mogą być łatwo zautomatyzowane co pozwala na prowadzenie pomiarów on-line, co jest szczególnie ważną

zaletą w przypadku produkcji na dużą skalę. Ultradźwięki znajdują zastosowanie w ocenie właściwości fizyko-chemicznych wielu produktów spożywczych, takich jak owoce, warzywa, mięso, ryby, napoje, oleje, tłuszcze czy wyroby mleczarskie [Benedito i in. 2002].

W nieniszczących badaniach ultradźwiękowych stosuje się ultradźwięki o natężeniu poniżej  $1\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Ultradźwięki o tak małym natężeniu nie powodują żadnych zmian fizyko-chemicznych właściwości badanych materiałów [Mulet i in. 1999]. Materiał badany jest poddawany działaniu ultradźwięków tylko w chwili pomiaru, a więc nie ma niebezpieczeństwa jego modyfikacji jaką stwierdzono po długim oddziaływaniu ultradźwiękowego nawet o małym natężeniu [Latoch, Dolatowski 2003; Kobus 2003]. Nieinwazyjne, zwane też biernym zastosowaniem ultradźwięków do badań fizyko-chemicznych właściwości materiałów polega na wprowadzeniu do badanego ośrodka sygnału akustycznego o małym natężeniu i częstotliwości z zakresu ultradźwięków co powoduje określoną deformację sprężystą ośrodka [Śliwiński 2001]. W materiałach biologicznych najlepiej rozchodzi się fala podłużna. Dlatego do badań tych materiałów stosuje się głowice z przetwornikami wywołującymi właśnie ten rodzaj fali. Ponieważ materiały biologiczne w większości są materiałami silnie tłumiącymi do ich badań stosuje się najczęściej metodę przejścia. Deformacja sprężysta przesuwa się wówczas formie zagęszczeń i rozrzedzeń ośrodka od głowicy nadawczej do odbiorczej. Przetwornik głowicy odbiorczej odbiera reakcję badanego materiału w formie drgań. Analiza parametrów otrzymanych drgań oraz czasu przejścia fali przez materiał pozwala na pomiar jego niektórych właściwości fizyko-chemicznych. W trakcie pomiarów prędkości propagacji fali ultradźwiękowych w mięsie mielonym stwierdzono znaczny rozrzut otrzymanych wartości. Sposób przeprowadzenia pomiarów powodował, że różnice te mogły wynikać ze:

- zmiany położenia głowic względem siebie,
- różnych naprężeń wywołanych w materiale,
- działania obu tych czynników równocześnie.

W celu wyeliminowania wpływu zmian położenia głowic na wyniki pomiarów prędkości fali ultradźwiękowej w badanym mięsie przeprowadzono pomiary w specjalnie wykonanej komorze pomiarowej. W związku z tym sformułowano cel badań.

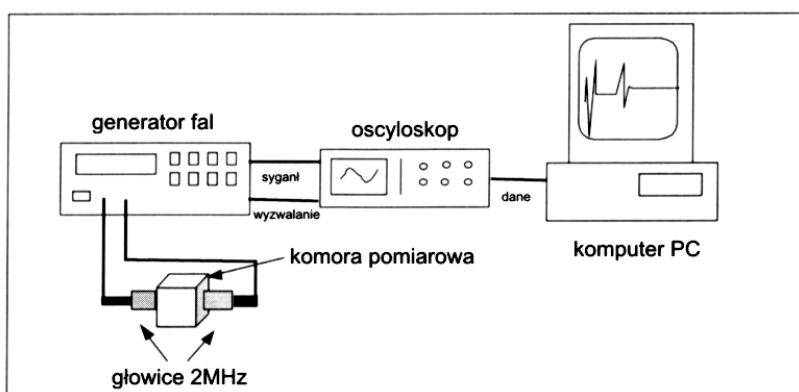
## Cel badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu naprężeń wywołanych w mięsie mielonym na amplitudę i czas przejścia w nim fali ultradźwiękowej.

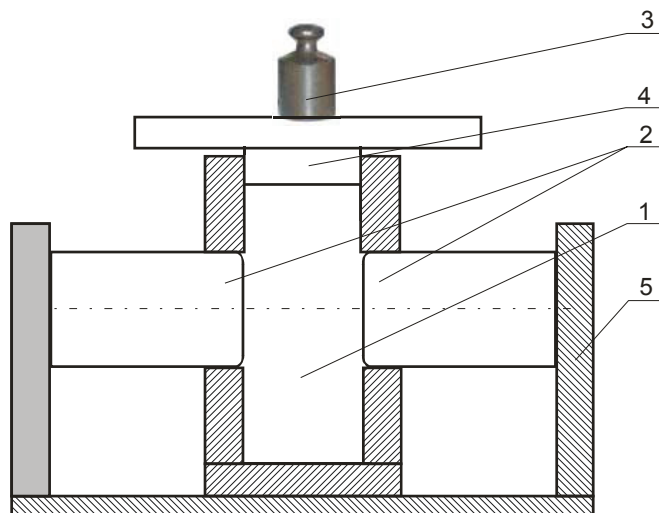
## Materiał i metodyka badań

Do badań użyto mięsa mielonego zakupionego w handlu detalicznym o nazwie handlowej „mięso kulinarne”. Skład podany przez Producenta to: mięso wieprzowe z łopatki (90%), sól, błonnik, stabilizator E262, przyprawy naturalne, konserwant E250. Po zakupie materiał przechowywano w temperaturze zalecanej przez producenta  $0^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}$  w opakowaniu próżniowym. Cykl pomiarowy trwający ok. 30 min wykonywano w temperaturze  $25^{\circ}\text{C}$ . Temperatura materiału mierzona w centralnym punkcie próbki w tym czasie podnosiła się maksymalnie o  $3^{\circ}\text{C}$ .

Badania przeprowadzono na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym (rys. 1) Stanowisko składa się z generatora fal ultradźwiękowych Panametrics 5800PR, dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego Tektronix TDS 1012B, komputera PC pary ultradźwiękowych głowic fal podłużnych INCO 2LO°20C o częstotliwości 2 MHz i średnicy przetwornika wynoszącej 20 mm oraz komory pomiarowej (rys. 2).



Rys. 1. Stanowisko badawcze  
Fig. 1. Test stand



Rys. 2. Komora pomiarowa: 1 – badany materiał, 2 – głowice ultradźwiękowe, 3 – obciążenie,  
4 – tłok z półką, 5 – nieodkształcalne szczęki  
Fig. 2. Measuring chamber: 1 – tested material, 2 – ultrasonic heads, 3 – load, 4 – piston with shelf, 5 – non-deformable jaws

W komorze pomiarowej o pojemności 160 cm<sup>3</sup> zamontowano naprzeciw siebie poziomo, współosiowo dwie głowice ultradźwiękowe w sposób uniemożliwiający zmianę położenia głowic. Odległość między głowicami, a więc droga jaką przebyła fala ultradźwiękowa w badanym materiale była stała i wynosiła 30 mm. W górnej części na pionowych prowadnicach zamocowano przesuwne tłok z półką umożliwiającą ustawianie odważników. Cała komora została umieszczona pomiędzy sztywnymi, nieodkształcalnymi szczękami zapewniającymi stałą, niezależną od wielkości obciążenia odległość między głowicami. Komorę pomiarową wypełniano każdorazowo 154 cm<sup>3</sup> materiału badawczego.

Tłok obciążano odważnikami w zakresie 0 g – 5100 g co 100 g uwzględniając masę tłoka wynoszącą 100 g. Po każdej zmianie obciążenia dokonywano pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej przez materiał oraz amplitudy odbieranego przez głowicę odbiorczą sygnału. Czas przejścia wyznaczano metoda zero-crossing polegającą na odczycie czasu od chwili wyzwolenia sygnału do chwili przecięcia przez drugie zbrocze narastające sygnału odbieranego osi zerowej. Amplitudę odbieranego sygnału natomiast wyznaczała maksymalna i minimalna wartość całego sygnału.

Prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w mięsie mielonym wyznaczano z zależności (1).

$$c = \frac{s}{t} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

## Wyniki badań i ich analiza

W tabeli 1 przedstawiono wartości średnie prędkości propagacji fali ultradźwiękowej w mięsie mielonym oraz wartości średnie amplitudy fali po przejściu przez mięso mielone w zależności od naprężeń w nim wywołanych dla 30 powtórzeń. Tabela ta zawiera również wartości odchyłeń standardowych od średniej poszczególnych wielkości. Analizując dane w niej zamieszczone można zauważyć, że wartości średnie prędkości fali zmieniają się w zakresie od  $1427 \pm 26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla mięsa nieobciążonego do  $1413 \pm 31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla mięsa obciążonego maksymalnie w badanym zakresie. Maksymalna szerokość zakresu zmienności wynosi więc zaledwie 2,1%.

Wartości średnie amplitudy fali zmieniały się od wartości  $9 \pm 5 \text{ V}$  dla materiału nieobciążonego do  $22 \pm 9 \text{ V}$  dla materiału maksymalnie obciążonym w badanym zakresie. Maksymalna szerokość zakresu zmienności w przypadku amplitudy sygnału wynosiła więc 55% i zmniejszała się wraz ze wzrostem naprężeń. Analiza statystyczna przeprowadzona przy wykorzystaniu pakietu Statistica 7.1 pozwoliła na stwierdzenie, że brak jest istotnej statystycznie zależności pomiędzy prędkością propagacji fali ultradźwiękowej w mięsie mielonym, a naprężeniami w materiale. Potwierdza to również rysunek 3 pokazujący wartości średnie prędkości fali, błędy i odchylenia standardowe od wartości średnich dla naprężeń z założonego zakresu pomiarowego. Stwierdzenie to jest bardzo istotne ze względu na prowadzone badania. Istnieją bowiem podstawy by stwierdzić, iż różnice prędkości fali

Wpływ naprężeń w mięsie...

otrzymane w poprzedzających doświadczeniach były zależne tylko od zmiany wzajemnego położenia głowic.

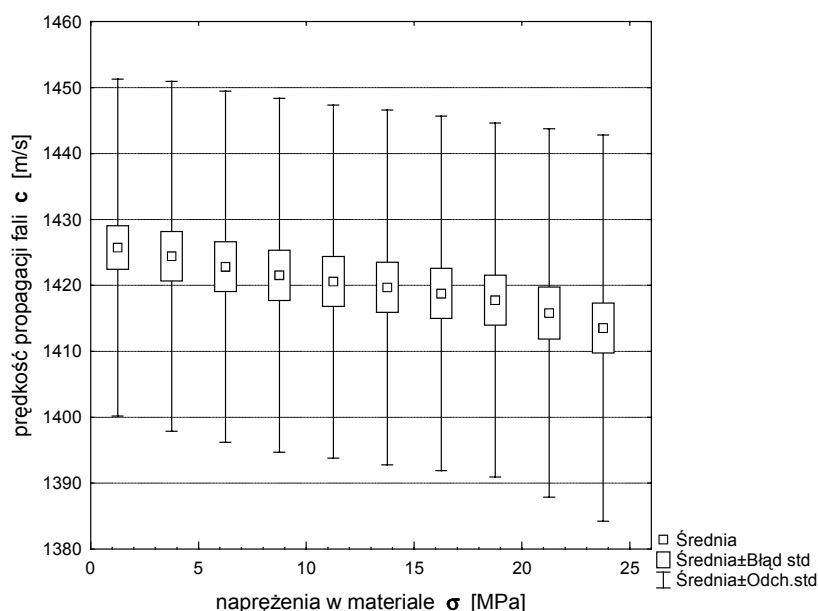
Tabela 1. Wartości średnie prędkości propagacji fali ultradźwiękowej mięsie mielonym oraz amplitudy fali po przejściu przez materiał w zależności od wywołanych w nim naprężeń

Table 1. Average values of ultrasonic wave propagation rate in minced meat and wave amplitudes after passing through the material depending on stresses induced in it

Obciążenie próbki [g]	Naprężenia w próbce [MPa]	Średnia prędkość fali [m·s <sup>-1</sup> ]		Średnia amplituda fali [V]	
0	0,0	1427 <sup>(1)</sup>	±26 <sup>(2)</sup>	9 <sup>(1)</sup>	±5 <sup>(2)</sup>
100	0,5	1426	±26	9	±5
200	1,0	1426	±27	9	±6
300	1,5	1425	±27	10	±7
400	2,0	1425	±27	10	±7
500	2,5	1425	±27	10	±6
600	2,9	1425	±28	10	±7
700	3,4	1425	±28	11	±7
800	3,9	1425	±28	11	±8
900	4,4	1424	±28	12	±8
1000	4,9	1423	±28	12	±8
1100	5,4	1423	±28	12	±8
1200	5,9	1423	±28	12	±8
1300	6,4	1423	±27	12	±8
1400	6,9	1422	±28	13	±8
1500	7,4	1422	±28	13	±8
1600	7,8	1422	±28	13	±8
1700	8,3	1422	±28	14	±7
1800	8,8	1421	±28	14	±8
1900	9,3	1421	±28	14	±7
2000	9,8	1421	±28	15	±7
2100	10,3	1421	±28	15	±8
2200	10,8	1421	±28	16	±8
2300	11,3	1421	±28	16	±8
2400	11,8	1420	±28	16	±8
2500	12,3	1420	±28	16	±8
2600	12,8	1420	±28	17	±8
2700	13,2	1420	±28	17	±8
2800	13,7	1420	±28	17	±8
2900	14,2	1419	±28	17	±8
3000	14,7	1419	±28	18	±9
3100	15,2	1419	±28	18	±9
3200	15,7	1419	±28	18	±9
3300	16,2	1419	±28	18	±9
3400	16,7	1419	±28	19	±9
3500	17,2	1418	±28	19	±9
3600	17,7	1418	±28	19	±9
3700	18,1	1418	±28	19	±9

Obciążenie próbki [g]	Napężenia w próbce [MPa]	Średnia prędkość fali [m·s <sup>-1</sup> ]		Średnia amplituda fali [V]	
		wartość	odchylenie	wartość	odchylenie
3800	18,6	1418	±28	20	±9
3900	19,1	1418	±28	20	±9
4000	19,6	1417	±28	20	±9
4600	22,6	1414	±30	21	±9
4700	23,1	1414	±30	21	±9
4800	23,5	1414	±31	21	±9
4900	24,0	1413	±31	22	±8
5000	24,5	1413	±31	22	±9
5100	25,0	1413	±31	22	±9

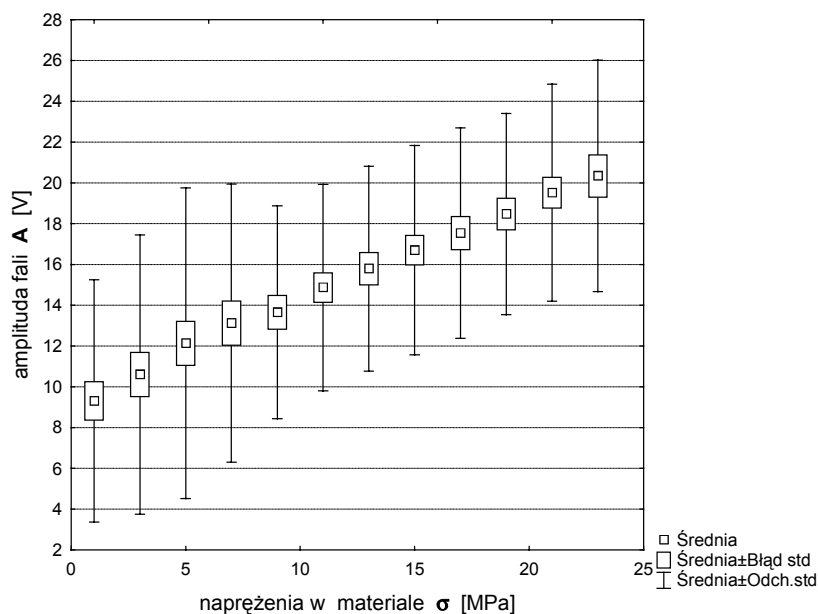
<sup>(1)</sup> – wartość średnia, <sup>(2)</sup> – odchylenie standardowe (±)



Rys. 3. Prędkość propagacji fali ultradźwiękowej w mięsie mielonym dla różnych naprężeń w materiale

Fig. 3. Ultrasonic wave propagation rate in minced meat for different stress values in the material

W przypadku amplitudy fali ultradźwiękowej po przejściu przez mięso mielone poddane naprężeniom ściskającym analiza statystyczna wykazała statystycznie istotną jej zależność od tych naprężeń, co potwierdza również rysunek 4 pokazujący zmianę amplitudy sygnału dla rosnących wartości naprężenia w materiale wraz z odchyleniem standardowym średniej. Mimo, iż odchylenie to przyjmuje znaczne wartości wykres potwierdza wyniki analizy statystycznej. W badanym zakresie stwierdzono szczególnie silną zależność dla naprężeń powyżej 9 MPa.



Rys. 4 Amplituda fali ultradźwiękowej po przejściu przez mięso mielone dla różnych naprężeń w materiale

Fig. 4. Ultrasonic wave amplitude after passing through minced meat for different stress values in the material

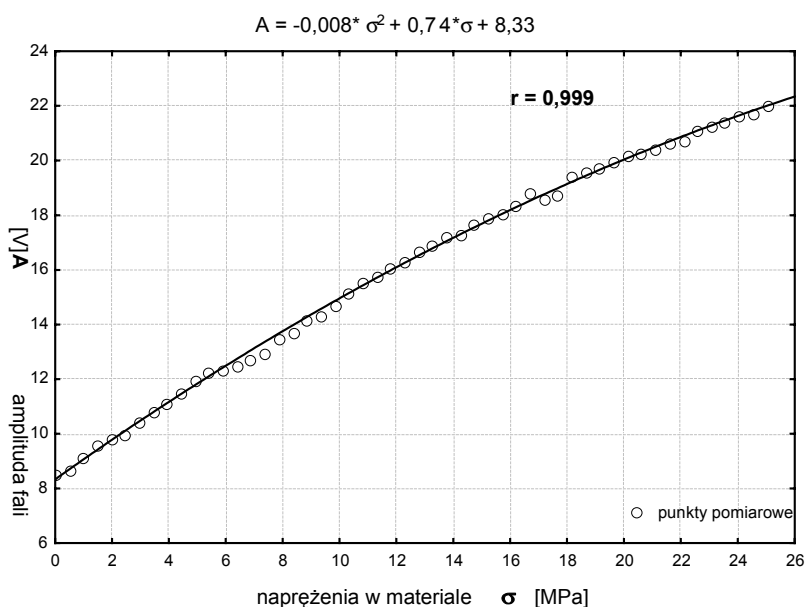
W związku z powyższym punkty pomiarowe aproksymowano funkcją kwadratową o równaniu (2).

$$A = 8,33 + 0,74 \cdot \sigma - 0,008 \cdot \sigma^2 \quad (2)$$

Funkcja ta (rys. 5) aproksymuje punkty pomiarowe z bardzo wysokim współczynnikiem korelacji  $r=0,999$ . Widać, że wraz ze wzrostem naprężeń ściskających wywołanym w mięsie amplituda sygnału rośnie.

## Wnioski

1. Dla naprężeń ściskających z zakresu 0 MPa – 25 MPa wywołanych w mięsie mielonym nie stwierdzono statystycznie istotnej zależności pomiędzy prędkością propagacji fali ultradźwiękowej w mięsie mielonym, a wywołwanymi naprężeniami.
2. W badanym zakresie (0 MPa – 25 MPa) naprężeń ściskających stwierdzono kwadratową zależność pomiędzy amplitudą sygnału po przejściu przez materiał, a wywołanymi naprężeniami wg. empirycznej formuły  $A=8,33+0,74\sigma-0,0087\sigma^2$ .



Rys. 5. Zależność amplitudy fali ultradźwiękowej po przejściu przez mięso mielone dla różnych naprężeń w materiale

Fig. 5. Relation of ultrasonic wave amplitude after passing through minced meat for different stress values in the material

## Bibliografia

- Benedito J., Carcel J.A., Gonzalez R., Mulet A.** 2002. Application of low intensity ultrasonics to cheese manufacturing processes, *Ultrasonics*, 40. s. 19-23.
- Kobus Z.** 2003. Wpływ fali ultradźwiękowej na wydajność tłoczenia soku z miąższu jabłek, *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8(50). s. 197-202.
- Latoch A., Dolatowski Z. J.** 2003. Właściwości żeli homogenatów mięsa pod działaniu ultradźwięków, *Inżynieria Rolnicza*. Nr 8(50). s. 241-249.
- Llull P., Simal S., Femenia A., Benedito J., Rosello C.** 2002. The use ultrasound velocity measurement to evaluate the textural properties of sobrassada from Mallorca. *Journal of Food Engineering*, 52. s. 323-330.
- Mulet A., Benedito J., Bon J., Rosello C.** 1999. Ultrasonic velocity in cheddar cheese is affected by temperature, *Journal of Food Science*, 64(6). s. 1038-1041.
- Pawłowski Z.** 1984. Badania nieniszczące. Poradnik. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich. Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP w Warszawie, Warszawa.
- Śliwiński A.** 2001. *Ultradźwięki i ich zastosowania*. WNT. Warszawa.



## **THE IMPACT OF STRESSES IN MINCED MEAT ON VELOCITY AND AMPLITUDE OF ULTRASONIC WAVE**

**Abstract.** The paper presents measurement results for ultrasonic wave propagation rate and received signal amplitude, depending on stresses induced in minced meat. The research involved using pair of longitudinal wave ultrasonic heads with 2 MHz frequency converters. The material was subject to stresses ranging from 0 MPa to 25 MPa. Completed analysis of obtained data within considered range confirmed directly proportional relationship between ultrasonic wave amplitude after passing through the examined minced meat, and stresses induced in it. Whereas, the research proved no statistically significant relationship in this extent between ultrasonic wave propagation rate and stresses in the examined material.

**Key words:** ultrasounds, minced meat, ultrasonic wave velocity, ultrasonic wave amplitude, stresses

**Adres do korespondencji:**

Andrzej Wesółowski  
Katedra Inżynierii Procesów Rolniczych  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
ul. Heweliusza 14  
10-718 Olsztyn