

## WPŁYW OBNIŻONEGO CIŚNIENIA NA WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE NASION KUKURYDZY PO OBRÓBCE HYDROTERMICZNEJ

Jacek Mazur

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

**Streszczenie.** W pracy określono wpływ zastosowanej obróbki hydrotermicznej i następującym po nim oddziaływaniu podciśnienia na zmiany zawartości wody, siły niszczącej, energii koniecznej do zniszczenia pojedynczych ziaren, oraz zmian pola powierzchni rzutu poziomego pojedynczych ziaren. Materiałem wykorzystanym do badań była kukurydza paszowa. Materiał badawczy został poddany obróbce hydrotermicznej (gotowanie przez 20 i 30 minut w temperaturze 100°C) i następnie poddana oddziaływaniu obniżonego ciśnienia (30 kPa) przez 1, 3 i 5 minut. W całym zakresie stosowanych czasów oddziaływania podciśnienia 30 kPa zaobserwowano wyższe wartości sił niszczących dla surowca obrabianego hydrotermicznie 20 minut w stosunku do obrabianego 30 minut.

**Słowa kluczowe:** kukurydza obróbka hydrotermiczna, oddziaływanie podciśnienia, siła niszcząca, zmiany zawartości wody, zmiany pola powierzchni rzutu poziomego

### Wstęp

Obróbka podciśnieniowa jest szeroko stosowana w różnych gałęziach przemysłu spożywczego takich jak: przemysł paszowy do produkcji wysokotłuszczowych mieszanek paszowych, niezbędnych do uzyskania dobrych wyników produkcyjnych, w przechowywaniu do pakowania, dzięki któremu można znacznie wydłużyć okres trwałości produktów, w suszarnictwie i wielu innych gałęziach przemysłu spożywczego [Białobrzewski i Misiak 1997; Chiralt i in. 2001; Klimczak i Irzyniec 1999; McArdle i in. 1974; McDonald i Da-Wen Sun 2000; Thompson i in. 2003; Zapotoczny i Markowski 1999].

W układach strukturalnych, jakie występują w większości surowców spożywczych, zmiany ciśnienia skutkują deformacją porów. Zjawisko to określone jest jako fenomen relaksacyjno-deformacyjny. Na tę deformację mają wpływ szybkości spadku i wzrostu ciśnienia. Szczególnie ważny jest okres sprowadzania ciśnienia do atmosferycznego, w czasie którego może dojść do zamknięcia naczyń włoskowatych surowców i zahamowania działania mechanizmu hydrodynamicznego [Fito i in. 1996; Salvatori i in. 1998].

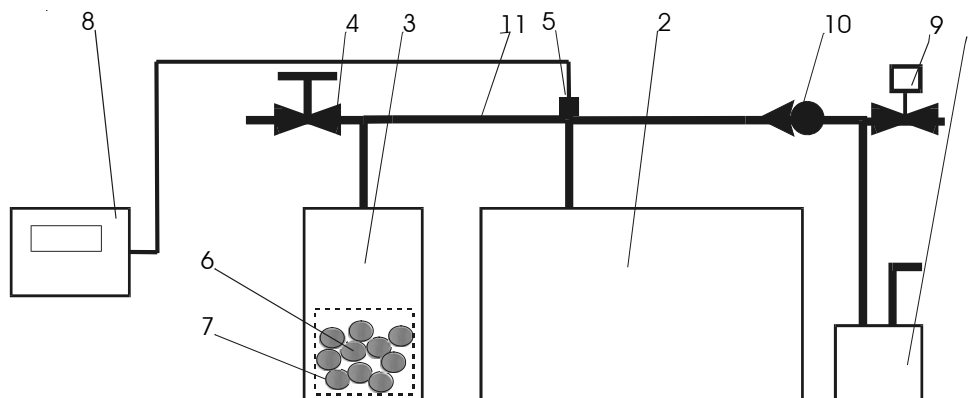
## Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu podciśnienia i czasu jego oddziaływania zastosowanego po wstępnej obróbce hydrotermicznej (gotowaniu) na właściwości wytrzymałościowe nasion kukurydzy obrobionych termicznie w różnych zakresach czasowych.

W pracy określono wpływ zastosowanej obróbki hydrotermicznej i następującym po niej oddziaływaniu podciśnienia na zmiany zawartości wody, siły niszczącej, energii koniecznej do zniszczenia pojedynczych ziaren, oraz zmian pola powierzchni rzutu poziomego pojedynczych ziaren.

## Metodyka i materiał badawczy

Materiałem wykorzystanym do badań była kukurydza paszowa. Materiał badawczy został poddany obróbce hydrotermicznej (gotowanie przez 20 i 30 minut w temperaturze 100°C) i następnie poddany oddziaływaniu obniżonego ciśnienia (30 kPa) przez 1, 3 i 5 minut w urządzeniu przedstawionym na rysunku 1. Przed i po zakończeniu stosowanych obróbek było określane: zawartość wody oraz zmiany siły niszczącej oraz energii niszczącej w stosunku do pojedynczych ziaren, a także pole powierzchni rzutu poziomego pojedynczych ziaren.



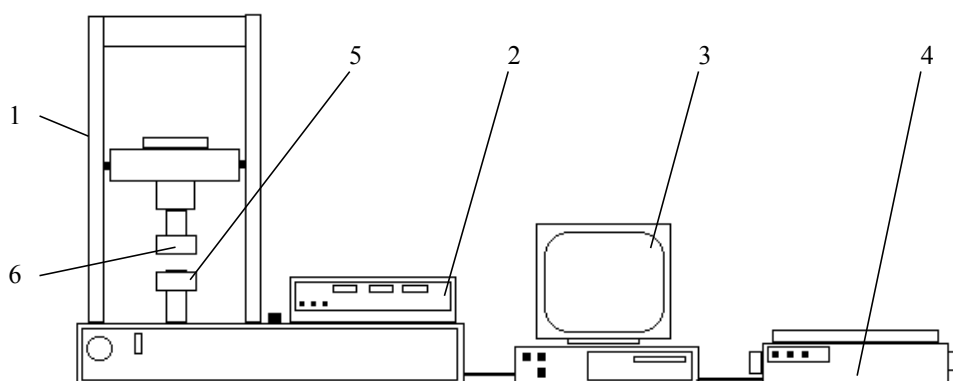
Rys. 1. Schemat ideowy urządzenia: 1 - pompa próżniowa, 2 - zbiornik główny, 3 - zbiornik zasadniczy, 4 - zawór kulowy, 5 - czujnik podciśnienia, 6 - próbka poddawana obróbce podciśnienia, 7 - siatka zapobiegająca wessaniu próbki, 8 - wskaźnik podciśnienia, 9 - elektrozawór, 10 - zawór zwrotny, 11 - zawór kulowy

Fig. 1. Schematic diagram of equipment: 1 - vacuum pump, 2 - main tank, 3 - basic tank, 4 - ball valve, 5 - vacuum sensor, 6 - vacuum treatment sample, 7 - anti-ingestion screen, 8 - vacuum indicator, 9 - solenoid valve, 10 - check valve, 11 - ball valve

Próbki, które zostały poddane obróbce podciśnieniowej, umieszczano w perforowanym plastikowym pojemniku 7, znajdującym się w zbiorniku zasadniczym 3. Po włożeniu próbki i zamknięciu zbiornika zasadniczego zamykano zawory kulowe 4 i 11. Po zamknięciu zaworów uruchamia się pompę próżniową 1 której zadaniem było uzyskanie podciśnienia w zbiorniku głównym 2. Na pulpicie sterowniczym umieszczony jest czujnik podciśnienia 5 na którym obserwowano przez cały czas wartość ciśnienia, jakie panowało w układzie urządzenia. Następnie po uzyskaniu wymaganego poziomu ciśnienia i zatrzymaniu pompy próżniowej 1 otwierano zawór kulowy między zbiornikiem głównym 2 i zasadniczym 3, w tym czasie następowało wyrównanie ciśnienia.

Pomiar zawartości wody został wykonany metodą suszarkowej zgodnie z Polską Normą PN/-91/A-74010 w temperaturze 130°C.

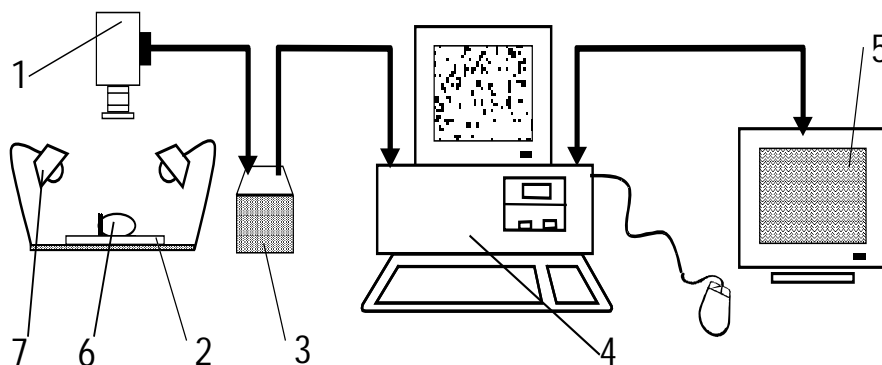
Pomiary wytrzymałości badanego materiału wykonane zostały na aparacie Instron 4302, (rys. 2) stosując test ściskania przy prędkości głowicy 50 mm·min<sup>-1</sup>. Wykonane zostało oznaczenie zmian siły niszczącej oraz energii niszczącej w wyniku obróbki podciśnieniowej. Badanie zostało wykonane w dziesięciu powtórzeniach.



Rys. 2. Schemat pomiaru siły ściskającej na UMW INSTRON 4302: 1 - UMW Instron, 2 - przetwornik analogowo cyfrowy, 3 - komputer, 4 - drukarka, 5 - dolny nieruchomy stół maszyny, 6 - górna ruchoma głowica

Fig. 2. Diagram of compression force measurement on UMW INSTRON 4302: 1 - UMW Instron, 2 - A/D converter, 3 - computer, 4 - printer, 5 - lower stationary machine table, 6 - upper movable head

Pomiary pola powierzchni rzutu poprzecznego zostały wykonane na stanowisku SVIST do komputerowej analizy obrazów (rys. 3). Badania zostały wykonane w dziesięciu powtórzeniach.



Rys. 3. Schemat systemu analizy wizyjnej obrazów SVIST: 1 - kamera cyfrowa, 2 - stół przedmiotowy, 3 - przetwornik, 4 - komputer PC z oprogramowaniem (system analizy obrazów), 5 - monitor kolorowy, 6 - próbka, 7 - lampy oświetleniowe

Fig. 3. Diagram of image visual analysis system SVIST: 1 - digital camera, 2 - object table, 3 - converter, 4 - PC computer with software (image analysis system), 5 - color monitor, 6 - sample, 7 - illumination lamps

## Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 4 obserwujemy wyniki badań przeprowadzonych na próbkach poddanych 20 i 30 minutowej obróbce hydrotermicznej oraz obróbce podciśnieniowej w ciśnieniu 30 kPa.

Zastosowanie 20 minutowej obróbki hydrotermicznej spowodowało prawie 4-krotny wzrost zawartości wody w próbkach, zaś obróbka 30 minutowa ponad 4-krotny wzrost tej wartości.

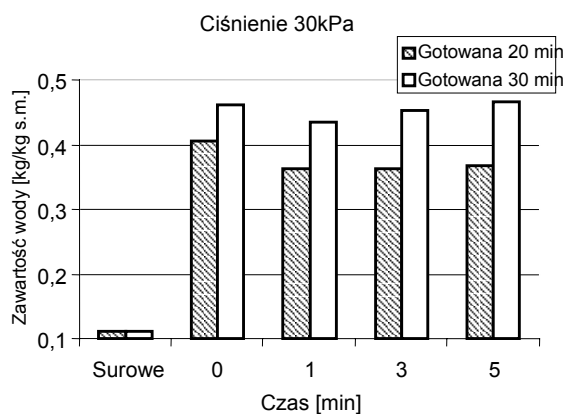
Kukurydza gotowana 20 minut w wyniku obróbki podciśnieniowej obniżyła maksymalnie zawartość wody o  $0,043 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$  (dla czasu 3 minuty oddziaływania podciśnienia) w stosunku do materiału poddanemu tylko obróbce podciśnieniowej. W przypadku 30 minutowej obróbki hydrotermicznej najniższą zawartość wody zaobserwowano przy 1 minutowej obróbce podciśnieniem (spadek o  $0,025 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ ).

Na rysunku 5 przedstawione są zmiany siły niszczącej próbki kukurydzy poddanej obróbce hydrotermicznej w czasie 20 i 30 minut oraz obróbce podciśnieniowej przy ciśnieniu 30 kPa.

Zastosowanie 20 minutowej obróbki hydrotermicznej spowodowało ponad 55% spadek wartości siły niszczącej. W wyniku zwiększenia czasu obróbki hydrotermicznej z 20 do 30 minut zaobserwowano spadek siły o ponad 65%.

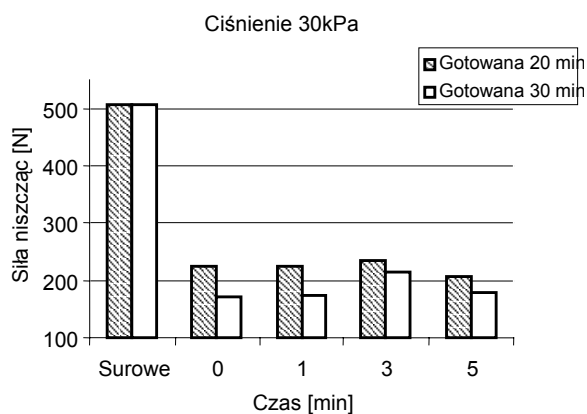
W próbkach gotowanych 20 i 30 minut najwyższe wartości sił niszczących zaobserwowano po 3 minutowej obróbce podciśnieniowej (235 N - dla nasion gotowanych 20 minut i 213N dla nasion gotowanych 30 minut).

Dla obu zastosowanych czasów obróbki hydrotermicznej dalsze przedłużanie czasu oddziaływania podciśnienia wywołało spadek tej siły o 12-15%.



Rys. 4. Zmiany zawartości wody w surowcach poddanych 20 i 30 minutowej obróbce hydrotermicznej w wyniku działania podciśnienia 30 kPa

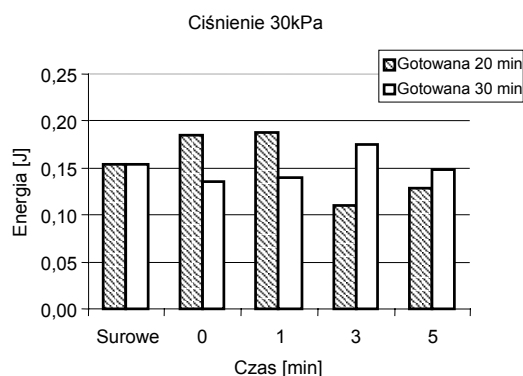
Fig. 4. Changes of water content in raw materials put to 20 and 30 minute hydrothermal treatment as a result of 30 kPa vacuum action



Rys. 5. Zmiany siły niszczącej w próbkach poddanych 20 i 30 minutowej obróbce hydrotermicznej i poddanych działaniu ciśnienia 20 kPa

Fig. 5. Changes of destructive force in samples put to 20 and 30 minute hydrothermal treatment and 20 kPa pressure action

Na rysunku 6 przedstawione są zmiany energii koniecznej do zniszczenia próbki kukurydzy poddanej obróbce hydrotermicznej w czasie 20 i 30 minut oraz obróbce podciśnieniowej przy ciśnieniu 30 kPa.



Rys. 6. Zmiany energii niszczącej w próbkach poddanych 20 i 30 minutowej obróbce hydrotermicznej i poddanych działaniu ciśnienia 30 kPa

Fig. 6. Changes of destructive energy in samples put to 20 and 30 minute hydrothermal treatment and 30 kPa pressure action

Zastosowana 20 minutowa obróbka hydrotermiczna spowodowała wzrost energii koniecznej do zniszczenia pojedynczych ziaren z wartości 0,155 J do wartości 0,185 J, w przypadku 30 minutowej obróbki termicznej zaobserwowano odwrotną zależność – spadek do wartości 0,136 J.

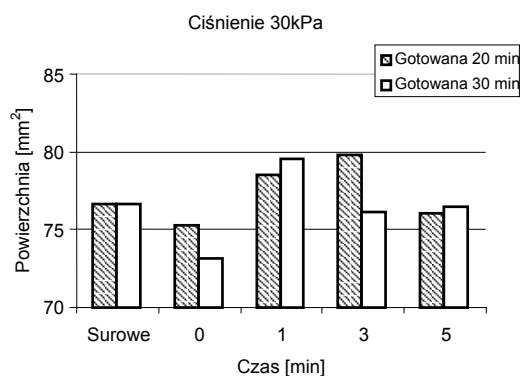
W przypadku nasion kukurydzy gotowanych 20 i 30 minut 1 minutowa obróbka podciśnieniowa nie wywołała zmian energii niszczącej. Dalsze przedłużenie czasu oddziaływania podciśnienia w przypadku kukurydzy gotowanej 20 minut wywołało spadek energii niszczącej do wartości 0,111 J, zaś dla nasion gotowanych 30 minut - wzrost tej wartości do 0,175 J. Oddziaływanie 5 minutowe podciśnienia w próbkach poprzedzającej obróbce hydrotermicznej przez 20 minut spowodowało wzrost energii niszczącej o ok. 14% w stosunku do materiału obrabianego podciśnieniem przez 3 minuty. Dla nasion gotowanych 30 minut przedłużenie czasu oddziaływania z 3 do 5 minut spowodowało spadek energii niszczącej o ok. 17%.

Na rysunku 7 przedstawione są zmiany pola powierzchni rzutu poziomego ziaren kukurydzy (w wyniku pęcznienia) poddanych obróbce hydrotermicznej w czasie 20 i 30 minut oraz obróbce podciśnieniowej przy ciśnieniu 30 kPa.

Zastosowana obróbka hydrotermiczna spowodowała spadek rzutu poziomego pojedynczych nasion kukurydzy, w przypadku 20 minutowej obróbki średnio o 1,5 mm<sup>2</sup>, a dla 30 minutowej obróbki hydrotermicznej spadek średnio o 3,5 mm<sup>2</sup>.

Dla nasion kukurydzy gotowanych 20 minut przedłużenie czasu obróbki podciśnieniowej do 3 minut spowodowało wzrost rzutu poziomego pojedynczych nasion kukurydzy (do maksymalnej wartości 79,79 mm<sup>2</sup>), dalsze przedłużenie obróbki podciśnieniowej spowodowało spadek tej wartości do poziomu 75,97 mm<sup>2</sup>.

Nasiona gotowane 30 minut wykazały maksymalną wartość rzutu poziomego pojedynczych nasion kukurydzy dla 1 minutowej obróbki podciśnieniowej (do maksymalnej wartości 79,58 mm<sup>2</sup>). Dalsze przedłużania się czasu obróbki podciśnieniowej spowodowało spadek tej wartości do poziomu rzędu 76 mm<sup>2</sup> (dla surowca przetrzymanego 3 i 5 minut w obniżonym ciśnieniu).



Rys. 7. Zmiany pola powierzchni rzutu poziomego nasion kukurydzy w próbkach poddanych 20 i 30 minutowej obróbce hydrotermicznej i poddanych działaniu ciśnienia 30 kPa

Fig. 7. Changes in surface area of the horizontal projection of corn seeds in samples put to 20 and 30 minute hydrothermal treatment and 30 kPa pressure action

Na podstawie uzyskanych wyników badań opracowano równania regresji i określono współczynniki determinacji, przedstawiono je w tabelach 1-4.

Tabela 1. Równanie regresji i wartości współczynnika determinacji  $R^2$  opisujące zmienność zawartości wody ( $u$ ) kukurydzy gotowanego i poddanego obróbce podciśnieniowej przez 1; 3 i 5 minut ( $\tau$ ) dla poziomu istotności 0,05

Table 1. Equation of regression and values of determination factor  $R^2$  describing variance of water content ( $u$ ) of corn cooked and put to vacuum treatment for 1; 3 and 5 minutes ( $\tau$ ) for the significance level of 0.05

Obróbka	Równanie regresji	$R^2$
Gotowana 20 min, podciśnienie 30 kPa	$u = 0,0115\tau^2 - 0,0693\tau + 0,461$	0,95
Gotowana 30 min, podciśnienie 30 kPa	$u = 0,0095\tau^2 - 0,0443\tau + 0,4936$	0,77

Tabela 2. Równania regresji i wartości współczynnika determinacji  $R^2$  opisujące zmienność sił niszczących ( $F$ ) ziarna gotowanego i poddanego obróbce podciśnieniowej przez 1; 3 i 5 minut ( $\tau$ ) dla poziomu istotności 0,05

Table 2. Equation of regression and values of determination factor  $R^2$  describing variance of destructive forces ( $F$ ) of cooked grain put to vacuum treatment for 1; 3 and 5 minutes ( $\tau$ ) for the significance level of 0.05

Obróbka	Równanie regresji	$R^2$
Gotowana 20 min, podciśnienie 30 kPa	$F = -7,105\tau^2 + 30,891\tau + 199,56$	0,76
Gotowana 30 min, podciśnienie 30 kPa	$F = -8,625\tau^2 + 48,715\tau + 128,58$	0,44

Tabela 3. Równania regresji i wartości współczynnika determinacji  $R^2$  opisujące zmienność energii niszczącej ( $E$ ) ziarna kukurydzy gotowanego i poddanego obróbce podciśnieniowej przez 1; 3 i 5 minut ( $\tau$ ) dla poziomu istotności 0,05

Table 3. Equation of regression and values of determination factor  $R^2$  describing variance of the destructive energy ( $E$ ) of cooked grain put to vacuum treatment for 1; 3 and 5 minutes ( $\tau$ ) for significance level of 0.05

Obróbka	Równanie regresji	$R^2$
Gotowana 20 min, podciśnienie 30 kPa	$E = 0,0038 \tau^2 - 0,0435 \tau + 0,2334$	0,67
Gotowana 30 min, podciśnienie 30 kPa	$E = -0,0073 \tau^2 + 0,0439 \tau + 0,0952$	0,54

Tabela 4. Równania regresji i wartości współczynnika determinacji  $R^2$  opisujące zmienność pola powierzchni rzutu poziomego ( $P$ ) ziaren kukurydzy gotowanych i poddanych obróbce podciśnieniowej przez 1; 3 i 5 minut ( $\tau$ ) dla poziomu istotności 0,05

Table 4. Equation of regression and values of determination factor  $R^2$  describing variance of surface area of the horizontal projection ( $P$ ) of cooked corn grains put to vacuum treatment for 1; 3 and 5 minutes ( $\tau$ ) for the significance level of 0.05

Obróbka	Równanie regresji	$R^2$
Gotowana 20 min, podciśnienie 30 kPa	$P = -1,7865 \tau^2 + 9,2787 \tau + 67,583$	0,97
Gotowana 30 min, podciśnienie 30 kPa	$P = -1,5186 \tau^2 + 8,2492 \tau + 67,114$	0,55

Wyższe wartości współczynników  $R^2$  zanotowano dla materiału poddanego wcześniej 20 minutowej obróbce hydrotermicznej. W przypadku materiałów poddanych poprzedzającej obróbce hydrotermicznej przez 30 minut ze względu na dużą zmienności i odchylenia otrzymanych wyników współczynnik  $R^2$  osiągał często wartość na niskim poziomie 0,4-0,5.

## Wnioski

Przeprowadzone badania oraz otrzymane z nich wyniki pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przeprowadzone oddziaływanie podciśnieniem dla 20 i 30 minutowej nie wywołało istotnych zmian zawartości wody w całym zakresie czasowym oddziaływania podciśnienia.
2. Nasiona kukurydzy gotowane 20 minut w badanym zakresie maksymalną wartość siły niszczącej wykazały przy 1 minutowej obróbce podciśnieniowej.
3. Maksymalną wartość energii niszczącej stwierdzono dla próbek obrabianych hydrotermicznie przez 20 minut i poddanych oddziaływaniu podciśnienia przez 3 minuty.
4. W całym zakresie stosowanych czasów oddziaływania podciśnienia 30 kPa zaobserwowano wyższe wartości sił niszczących dla surowca obrabianego hydrotermicznie 20 minut w stosunku do obrabianego 30 minut.



Reasumując zastosowanie obróbki podciśnieniowej przy ciśnieniu 30 kPa dla czasów oddziaływania 1, 3 i 5 minut nie przyniosło oczekiwanych i „znaczących” zmian wartości sił niszczących oraz energii niszczącej nasion kukurydzy. Konieczne będzie przeprowadzenie dalszych badań stosując podciśnienie o niższych wartościach i ewentualne przedłużenie czasu jego oddziaływania.

## Bibliografia

- Bialobrzewski J., Misiak W.** 1997. Kinetyka suszenia nasion bobiku w warunkach podciśnienia. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Zeszyt 445. s. 272-283.
- Chiralt A., Fito P., Barot J. M., Andres A., Gonzalez-Martinez C., Escriche L., Camacho M. M.** 2001. Use of vacuum impregnation in food salting process. Journ. of Food Eng. 49. s. 141-151.
- Fito P., Andres A., Chiralt A., Pardo P.** 1996. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatment in solid porous food liquid systems. Journ. of Food Eng. 27. s. 229-240.
- Klimczak J., Irzyniec Z.** 1999. Wpływ obniżonego ciśnienia na trwałość brokułów przechowywanych chłodniczo. Chłodnictwo, tom 34, nr 8. s. 46-49.
- McArdle F. J., Kuhn G. D., Beelman R. B.** 1974. Influence of vacuum soaking on yield and quality of canned mushrooms. Journ. of Food Sci. 39. s. 1026-1028.
- McDonald K., Da-Wen Sun** 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry. Journal of Food Engineering, 45. s. 55-65.
- Salvatori D., Andres A., Chiralt A., Fito P.** 1998.: The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. Journ. of Food Proc. Eng. 21. s. 59-73.
- Thompson J. F., Mitchell F. G., Rumsey T. R., Kasmire R. F., Crisosto C. H.** 2003. Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers. Postharvest Technology Research and Information Center UC DAVIS – Pomology Department One Shields Avenue, Davis.
- Zapotoczny P., Markowski M.** 1999. Effect of storage under hypobaric conditions on shelf quality of the cucumbers. Problemy Inżynierii Rolniczej, R. 7, nr 2 (24). s. 55-60.

## THE INFLUENCE OF LOWERED PRESSURE ON STRENGTH PROPERTIES OF CORN SEEDSAFTER HYDROTHERMAL TREATMENT

**Summary.** The work describes the influence of applied hydrothermal treatment and the following vacuum interaction on changes in water content, destructive force, energy necessary to destroy single grains, and changes of surface area of the horizontal projection of single grains. The material used in the tests was feed corn. The test material was put to hydrothermal treatment (cooking for 20 and 30 minutes at 20°C) and then put to lower pressure (30 kPa) action for 1, 3 and 5 minutes. Within the whole time range of 30 kPa vacuum activity, higher values of destructive forces were observed for raw product hydrothermally treated for 20 minutes when compared to the one treated for 30 minutes.

**Key words:** corn, hydrothermal treatment, vacuum effect, destructive force, changes of water content, changes of surface area of horizontal projection

**Adres do korespondencji:**

Jacek Mazur; e-mail: [jacek.mazur@ar.lublin.pl](mailto:jacek.mazur@ar.lublin.pl)  
Katedra Inżynierii i Maszyn Spożywczych  
Akademia Rolnicza w Lublinie  
ul. Doświadczalna 44  
20-2360 Lublin