

PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA PSZENICY I JĘCZMIENIA PRZED ORAZ PO NAWILŻANIU I SUSZENIU

Wanda Woźniak, Stanisław Grundas

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN w Lublinie

Streszczenie. Przeprowadzono badania właściwości mechanicznych – wytrzymałości i modułu sprężystości – wycinków ziarniaków pszenicy jarej odmiany Henika i jęczmienia nieoplewionego odmiany Rastik przed i po nawilżaniu. Nawilżanie i suszenie ziarna pszenicy spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie oraz modułu sprężystości o około 50%. Dla ziarniaków jęczmienia zmiany te były kilkuprocentowe – około 7%. Na podstawie badań rentgenograficznych stwierdzono zróżnicowaną odporność na uszkodzenia ziarniaków pszenicy i jęczmienia. Próbkę kontrolną pszenicy nie wykazywały wewnętrznych uszkodzeń, a próbki jęczmienia miały średnio około 14 pęknięć. Liczba pęknięć wzrastała w miarę nawilżania ziarniaków. Dla pszenicy stwierdzono wysoką, ujemną korelację pomiędzy liczbą uszkodzeń wewnętrznych a wyznaczanymi parametrami mechanicznymi. Dla jęczmienia zależności takiej nie wykazano.

Słowa kluczowe: ziarniaki pszenicy i jęczmienia, nawilżanie, uszkodzenia wewnętrzne, wytrzymałość na ściskanie, moduł sprężystości

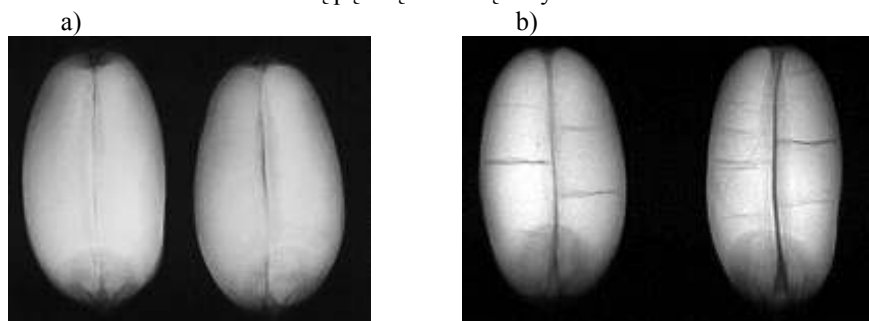
WSTĘP

Wśród szeregu właściwości fizycznych, właściwości mechaniczne ziarna są najbardziej związane ze stanem struktury bielma [Fortes i Okos 1980, Glenn *i in.* 1991, Kang *i in.* 1995]. Intensywne nawilżanie suchego ziarna prowadzi do gwałtownego wzrostu naprężeń, które wywołują charakterystyczne pęknięcia poprzeczne bielma [Weller *i in.* 1990, Woźniak 2003 i 2004]. Procesy nawilżania ziarna występują zarówno w okresie przedzbiorowym, kiedy w pełni dojrzałe ziarniaki są intensywnie nawilżane podczas deszczu lub rosy, jak i w trakcie kondycjonowania przed przemiałem [Gunasekaran i Paulsen 1985, Weller *i in.* 1990, Geodecki 1999, Grundas i Sosnowski 2004].

Zastosowanie techniki rentgenograficznej pozwala ocenić stan fizyczny badanego obiektu i obserwować zjawisko powstawania uszkodzeń wewnętrznych pod wpływem różnych czynników destrukcyjnych [Woźniak 1994, 1996, 2003a i b, 2004]. Zaletą metody rentgenograficznej w zastosowaniach rolniczych jest możliwość prowadzenia badań nieniszczących. Celem badań było określenie wpływu nawilżania i suszenia ziarna pszenicy i jęczmienia na zmianę stanu fizycznego bielma i w konsekwencji na zmianę jego właściwości mechanicznych.

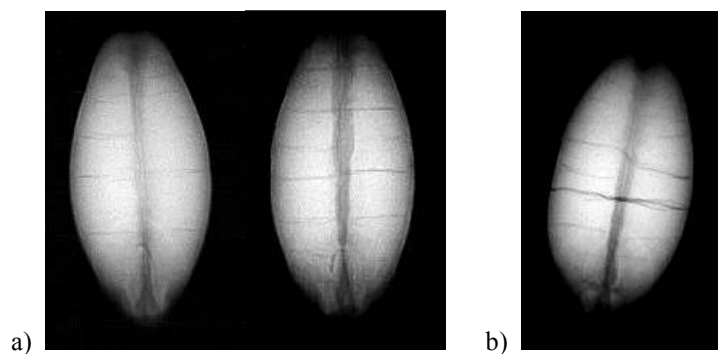
MATERIAŁ I METODYKA

Badania przeprowadzono na pojedynczych ziarniakach pszenicy jarej odmiany Henika, oddzielnie dla ziarniaków o strukturze szklistej i mączystej oraz nieoplewionego jęczmienia jarego odmiany Rastik. Ziarniaki o wilgotności 10% nawilżano w wodzie w czasie 1, 3, 6 i 9 godzin, a następnie suszono do wilgotności początkowej i poddawano detekcji rentgenograficznej. Na kliszach rentgenowskich rejestrowano po 150 obrazów ziarniaków dla każdego wariantu doświadczenia, tj. próby kontrolnej i 4 czasów nawilżania (po 30 sztuk na jednej kasie pomiarowej, w 5 powtórzeniach). Stan uszkodzenia bielma określano liczbą pęknięć. Łącznie przeanalizowano obrazy 750 ziarniaków. Na fotografiach 1 i 2 przedstawiono przykładowe rentgenogramy ziarniaków pszenicy i jęczmienia – przed nawilżaniem (a) oraz po nawilżaniu i wysuszeniu (b). Stan uszkodzenia bielma określano liczbą pęknięć wewnętrznych.



Fot. 1. Rentgenogramy ziarniaków pszenicy odmiany Henika: a) ziarniaki bez uszkodzeń – kontrola, b) ziarniaki z uszkodzeniami wewnętrznymi

Photo. 1. X-Ray images of wheat kernels cv. Henika: a) undamaged kernels – control, b) kernels with internal cracks



Fot. 2. Rentgenogramy ziarniaków jęczmienia nieoplewionego odmiany Rastik:

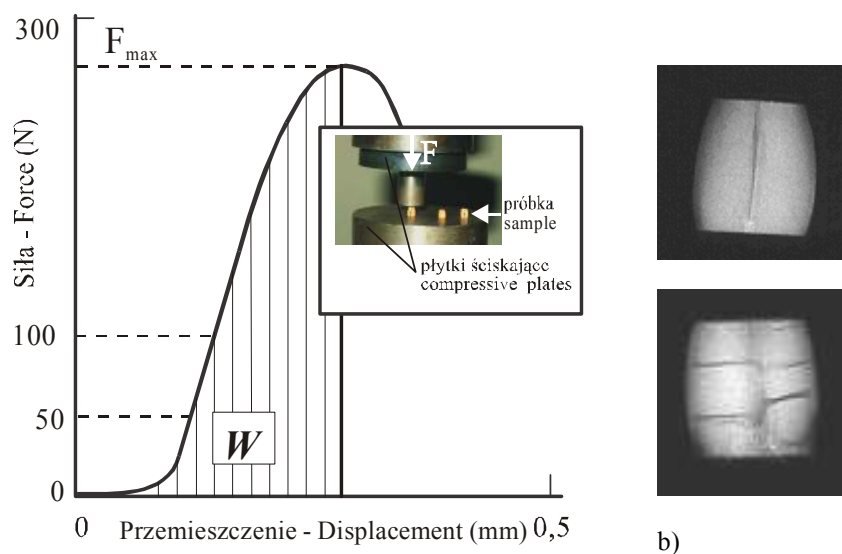
a) kontrola, b) ziarniaki z uszkodzeniami wewnętrznymi powstałymi po nawilżaniu

Photo. 2. X-Ray images of barley kernels cv. Rastik: a) control, b) kernels with internal cracks as a result of moisture treatment

Badania właściwości mechanicznych ziarna przeprowadzono metodą jednoosiowego ściskania próbek ziarniaków pozbawionych końców. Właściwości mechaniczne wyznaczano

z prawa Hooke'a, co jest najbardziej wiarygodne z uwagi na eliminację zarówno wpływu geometrii ziarna, jak i kontaktu chropowatych powierzchni okrywy owocowo-nasiennej z płytkami obciążającymi [Zoerb i Hall 1960, Arnold i Mohsenin 1971, Woźniak 2003a].

Z próby kontrolnej oraz ziarna uprzednio nawilżanego i w różnym czasie suszonego wybierano po 60 ziarniaków i przy użyciu specjalnie skonstruowanego przyrządu formowano próbkę rdzeniową o wysokości 4 mm (rys. 1b). Testy jednoosiowego ściskania prowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Instron model 6022 z głowicą tensometryczną o zakresie pomiarowym do 1 kN i prędkości deformacji $0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Rejestrowano siłę w funkcji przemieszczenia (rys. 1a). Siłę wyznaczano z dokładnością $\pm 1 \text{ N}$, a przemieszczenie z dokładnością $\pm 0,01 \text{ mm}$.



a)
Rys. 1. Krzywa siła-przemieszczenie w teście jednoosiowego ściskania wycinków ziarniaków (a);
rentgenogram środkowej części ziarniaka (b)

Fig. 1. Force-deformation curve for **mono-axial** compression of kernel specimens (a), X-Ray images of the central part of kernels (b)

Wytrzymałość próbki $\sigma_{\max}$ – maksymalne naprężenie ściskające [Shelef i Mohsenin 1967, Mohsenin 1970, 1984] – wyznaczano ze wzoru:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{\bar{A}} \quad (1)$$

gdzie:

$F_{\max}$ – maksymalna siła N,

$\bar{A}$ – średnie pole powierzchni przekroju ziarniaka, mm^2 .

Traktując wycinek ziarniaka jako dwa stożki nieobrotowe złożone większymi podstawami, średnie pole powierzchni przekroju określano ze wzoru:

$$\bar{A} = \frac{A_z + 2A_{\max} + A_b}{4} \quad (2)$$

gdzie:

A_z, A_b – pole powierzchni podstaw wycinka ziarniaka – od strony zarodka i bródki, mm^2 ,

$A_{\max}$ – pole powierzchni największego przekroju ziarniaka, mm^2 .

Moduł sprężystości E wyznaczano z prawa Hooke'a (w przeprowadzonym eksperymencie przyjęty zakres odkształceń sprężystych wynosił 50-100 N):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_o}{\bar{A} \cdot \Delta l} \quad (3)$$

gdzie:

E – moduł sprężystości, MPa,

σ – naprężenie ściskające, MPa,

ε – odkształcenie względne,

F – siła ściskająca, N,

l_o – wysokość początkowa próbki, mm,

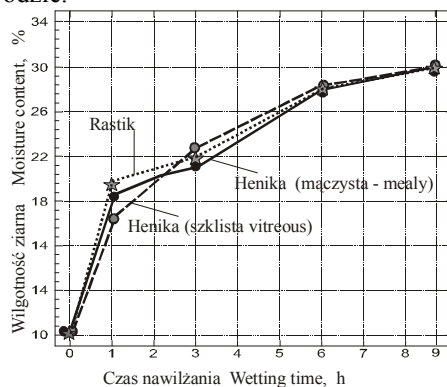
Δl – zmiana wysokości próbki, mm,

$\bar{A}$ – średnie pole powierzchni przekroju próbki, mm^2 .

Testom mechanicznym poddano łącznie 300 ziarniaków, tj. po 60 ziarniaków z każdego wariantu doświadczenia (kontrola + 4 czasy nawilżania).

WYNIKI

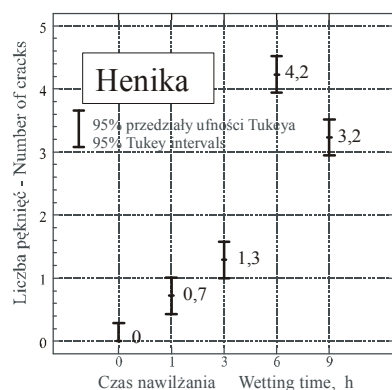
Rysunek 2 ilustruje zmianę wilgotności ziarniaków pszenicy i jęczmienia po różnym czasie moczenia w wodzie.



Rys. 2. Zależność wilgotności ziarniaków pszenicy odmiany Henika i jęczmienia odmiany Rastik od czasu nawilżania

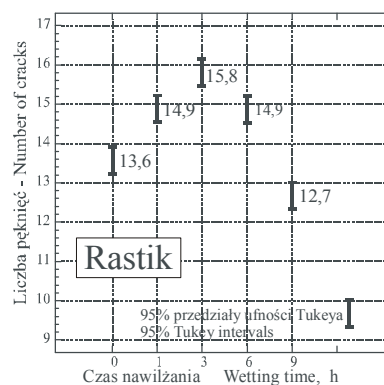
Fig. 2. Moisture content of wheat kernels cv. Henika and barley kernels cv. Rastik vs. wetting time

Wyniki badań rentgenograficznych i mechanicznych poddano analizie statystycznej, opierając się na testach Tukey'a. Analiza wariancji w układzie: liczba pęknięć wewnętrznych i czasy nawilżania wykazała, że czas nawilżania spowodował istotne zróżnicowanie wartości średnich. Ziarniaki pszenicy próby kontrolnej nie miały uszkodzeń, ale w miarę nawilżania pojawiły się pęknięcia wewnętrzne – średnio 4,2 po 6 godzinach nawilżania (rys. 3). Ziarniaki jęczmienia próby kontrolnej zawierały ponad 13 pęknięć (rys. 4). Pęknięcia te, jak można przypuszczać, powstały jeszcze w warunkach polowych. Po nawilżeniu ziarniaków do około 22% (3 godziny) i ich wysuszeniu zarejestrowano maksimum pęknięć wewnętrznych, tj. średnio około 16. Tak duża liczba pęknięć wewnętrznych ziarniaków jęczmienia świadczy o ich małej odporności na uszkodzenia mechaniczne w porównaniu z ziarniakami pszenicy.



Rys. 3. Średnia liczba pęknięć nawilżanych ziarniaków pszenicy jarej odmiany Henika

Fig. 3. Mean number of cracks of wetted wheat kernels cv. Henika

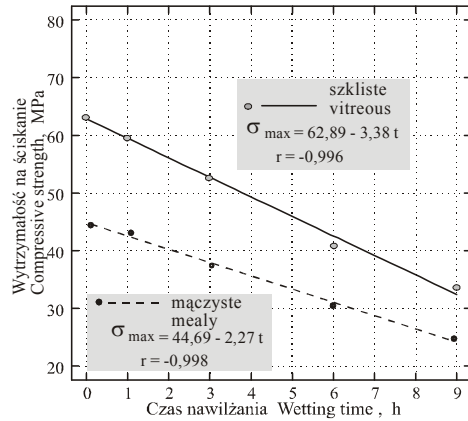


Rys. 4. Średnia liczba pęknięć nawilżanych ziarniaków jęczmienia odmiany Rastik

Fig. 4. Mean number of cracks of wetted barley kernels cv. Rastik

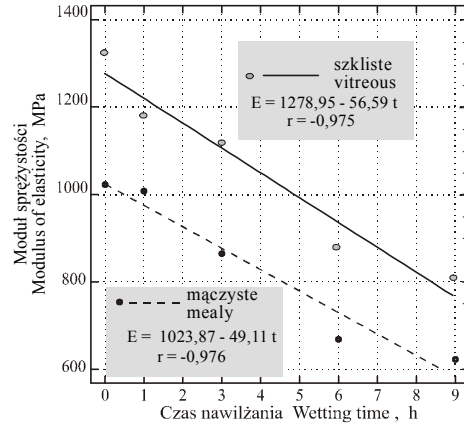
Analiza wariancji dla wytrzymałości na ściskanie ($\sigma_{\max}$) i modułu sprężystości (E) ziarniaków pszenicy odmiany Henika w układzie: typ struktury bielma i czasy nawilżania wykazała, że obydwa czynniki spowodowały istotne zróżnicowanie średnich. Stwierdzono wysoką, ujemną korelację pomiędzy badanymi parametrami mechanicznymi ziarniaków a czasem ich nawilżania (rys. 5 i 6).

Dla ziarniaków jęczmienia analizy wariancji w układzie: moduł sprężystości E i czas nawilżania oraz: maksymalne naprężenie $\sigma_{\max}$ i czas nawilżania wykazały, że zadany czas nawilżania nie spowodował istotnego zróżnicowania wartości średnich. Zaobserwowano jednak jednoznaczną tendencję spadkową wartości tych parametrów. Moduł sprężystości ziarna i wytrzymałość na ściskanie próbek nawilżanych przez 3 godziny utrzymał się na poziomie kontroli (rys. 9 i 10). Dopiero nawilżanie dłuższe, tj. 6 i więcej godzin, i suszenie spowodowało spadek wartości tych parametrów. Po 9 godzinach nawilżania wartości modułu sprężystości i wytrzymałości zmalały o około 7%.



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na ściskanie ($\sigma_{\max}$) od czasu nawilżania ziarniaków pszenicy – mączystych i szklistych

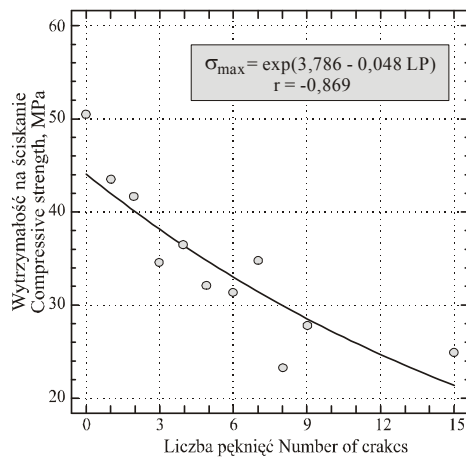
Fig. 5. Compressive strength ($\sigma_{\max}$) vs. wetting time of mealy and vitreous wheat kernels



Rys. 6. Zależność modułu sprężystości od czasu nawilżania ziarniaków pszenicy – mączystych i szklistych

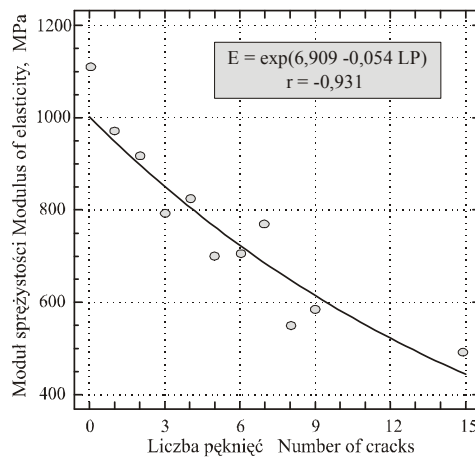
Fig. 6. Modulus of elasticity vs. wetting time of mealy and vitreous wheat kernels

Podobnie wysoka, ujemna korelacja wystąpiła między parametrami mechanicznymi ziarniaków a liczbą pęknięć wewnętrznych (rys. 7 i 8).



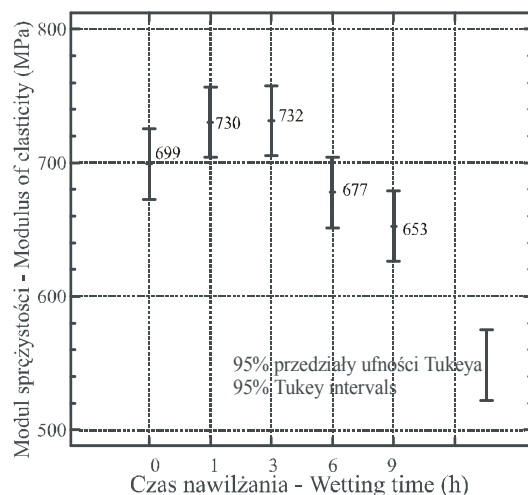
Rys. 7. Zależność wytrzymałości na ściskanie ($\sigma_{\max}$) od liczby pęknięć wewnętrznych ziarniaków pszenicy

Fig. 7. Compressive strength vs. number of inner cracks of wheat kernels



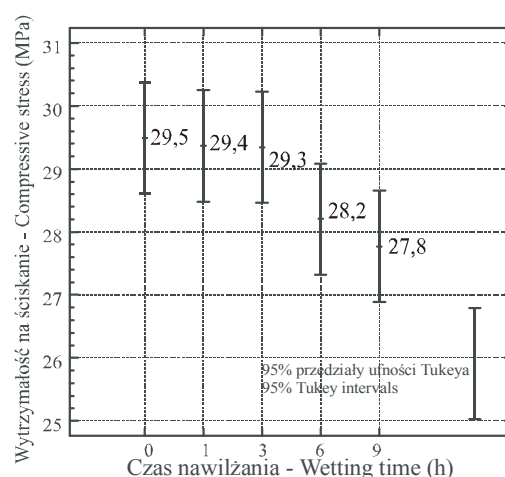
Rys. 8. Zależność modułu sprężystości od liczby pęknięć wewnętrznych ziarniaków pszenicy

Fig. 8. Modulus of elasticity vs. number of inner cracks of wheat kernels



Rys. 9. Średnie wartości modułu sprężystości nawilżanych ziarniaków jęczmienia odmiany Rastik

Fig. 9. Mean values of modulus of elasticity of wetted barley kernels cv. Rastik



Rys. 10. Średnie wartości wytrzymałości na ściskanie nawilżanych ziarniaków jęczmienia odmiany Rastik

Fig. 10. Mean values of compressive stress of wetted barley kernels cv. Rastik

Analiza wariancji w układzie: parametry mechaniczne i liczba pęknięć wewnętrznych nie wykazała istotnego wpływu wzrostu liczby uszkodzeń bielma wynikających z jego nawilżania i suszenia na zmianę wytrzymałości i modułu sprężystości. Można stąd wnosić, że nie tylko stan fizyczny bielma ziarniaków jęczmienia, wyrażany liczbą pęknięć, miał wpływ na jego właściwości mechaniczne. Nawilżanie i suszenie ziarniaków, obok zmiany struktury wewnętrznej (pęknięcia bielma), powoduje zmiany ich właściwości mechanicznych.

DYSKUSJA

Nawilżanie ziarniaków o niskiej wilgotności początkowej, a następnie suszenie jest przyczyną uszkodzenia ich bielma. Wzrost uszkodzeń wewnętrznych powoduje z kolei spadek wytrzymałości ziarna i modułu sprężystości ziarniaków pszenicy. Zależności takiej nie zaobserwowano dla nieoplewionego jęczmienia odm. Rastik.

Należy podkreślić, że o ile na liczbę pęknięć wewnętrznych nie wpływał istotnie typ struktury bielma pszenicy, to różnicował on wyraźnie wielkości parametrów wytrzymałościowych. Zatem zmian modułu sprężystości i wytrzymałości podczas jednoosiowego ściskania ziarniaków nie można wiązać tylko ze wzrostem uszkodzeń wewnętrznych, ale być może z różną budową bielma mączystego i szklanego – w przypadku pszenicy, a podobnie i jęczmienia. Niemniej jednak, obniżanie wytrzymałości ziarniaków uszkodzonych w wyniku nawilżania stanowi interesujący problem i należy brać go pod uwagę przy doborze warunków obróbki pozbiorowej. Ziarno popekane jest bowiem bardziej podatne na kruszenie i łamanie w transporcie oraz podczas przechowywania.

WNIOSKI

1. Stwierdzono zróżnicowaną odporność ziarniaków pszenicy odmiany Henika (o wyodrębnionym typie endospermu – szklanym i mączystym) i nieoplewionego jęczmienia odmiany Rastik. Próba kontrolna ziarniaków pszenicy nie miała uszkodzeń wewnętrznych, a próba ziarniaków jęczmienia miała średnio około 14 pęknięć. W miarę nawilżania ziarniaków wyraźnie wzrastała liczba pęknięć wewnętrznych.

2. Parametry wytrzymałościowe próbek kontrolnych pszenicy były ponad dwa razy wyższe niż jęczmienia. Dla pszenicy wytrzymałość ziarna szklanego na ściskanie wynosiła około 70 MPa, a dla mączystego 50 MPa. Dla ziarniaków jęczmienia wytrzymałość ta kształtowała się na poziomie 30 MPa. Moduł sprężystości ziarniaków pszenicy wynosił około 1300 MPa dla szklanego bielma i około 1000 MPa dla mączystego, w przypadku ziarniaków jęczmienia tylko 700 MPa.

3. Nawilżanie i suszenie ziarniaków pszenicy spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie i modułu sprężystości o około 50%. Dla ziarniaków jęczmienia zmiany te były kilkuprocentowe – około 7%.

4. Wytrzymałość ziarna i moduł sprężystości ziarniaków pszenicy korelowały z liczbą pęknięć wewnętrznych. Zależności takiej nie stwierdzono w ziarniakach jęczmienia.

PIŚMIENNICTWO

- Arnold P.C., Mohsenin N.N., 1971: Proposed techniques for axial compression tests on intact agricultural products of convex shape. *Trans. ASAE*, 14(1), 78-84.
- Fortes M., Okos M. R., 1980: Changes in physical properties of corn during drying. *Trans. ASAE*, 23(4), 1004-1008.
- Geodecki M., 1999: Pre-harvest internal damage to wheat grain. Doctoral thesis (in Polish), Instytut Agrofizyki PAN, Lublin.
- Glenn G. M., Younce F. L., Pitts M. J., 1991: Fundamental physical properties characterizing the hardness of wheat endosperm. *Cereal Sc.*, 13, 179-194.

- Grundas S., Sosnowski S., 2004: Monitoring procesu nawilżania ziarna pszenicy zwyczajnej przy zastosowaniu aparatu SKCS. *Wisnik. Czas. Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu Rolniczego*, Lwów-Dubłany, Ukraina, nr 8, 524-530.
- Gunasekaran S., Paulsen M. R., 1985: Breakage resistance of corn as a function of drying rates. *Trans. ASAE*, 28(6), 2071-2076.
- Kang Y.S., Spillman C.K., Steele J. L., Chung D.S., 1995: Mechanical properties of wheat. *Trans. ASAE*, 38(2), 573-578.
- Mohsenin N.N., 1984: *Electromagnetic radiation properties of food and agricultural products*. Gordon and Breach, Science Publishers, Inc., New York..
- Mohsenin N.N., 1970: *Physical prosperities of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Shelef L., Mohsenin N.N., 1967: Evaluation of the modulus of elasticity of wheat grain. *Cereal Chemistry*, 44/4, 392-402.
- Weller C.L., Paulsen M.R., Steinberg M.P., 1990: Stress cracking and breakage susceptibility as affected by moisture content at harvest for four yellow dent corn hybrids. *Trans. ASAE*, 33(3), 863-869.
- Woźniak W., Styk W., Geodecki M., 1994: High relative humidity as a cause of inner damage of wheat grain. *Int. Agrophysics*, 8 (2), 377-381.
- Woźniak W., Styk W., 1996: Internal damage to wheat grain as results of wetting and drying. *Drying Techn.* 14(2), 349-367.
- Woźniak W., 2003: Wyznaczanie podstawowych właściwości mechanicznych ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, 93, 135-144.
- Woźniak W., 2003: Zastosowanie metody jednoosiowego ściskania do wyznaczania podstawowych właściwości mechanicznych ziarna pszenicy. *Acta Agrophysica*, 93, 145-155.
- Woźniak W., 2004: Fizyczne skutki zmian wilgotności ziarna jęczmienia. *Acta Agrophysica*, 4(1), 235-242.
- Zoerb G.C., Hall C.W., 1960: Some mechanical properties of grain. *J. Agric. Eng. Res.*, 5, 1, 83-93.

COMPARISON OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT AND BARLEY KERNELS BEFORE AND AFTER WETTING

Summary. Mechanical properties – strength and modulus of elasticity of wheat and barley kernel sections were studied in the **mono-axial** compression test. The object of the study comprised kernels of spring wheat cv. Henika and of naked barley cv. Rastik before and after wetting. Wetting of wheat kernels resulted in a considerable reduction of its compressive strength and of the modulus of elasticity by approximately 50%. In the case of barley kernels the changes were of the order of several per cent – approximately 7%. X-Ray tests showed a differentiated resistance of wheat and barley kernels to damage. Control samples of wheat had no internal damage, while samples of barley kernels had on average approximately 14 cracks. The number of cracks increased with the wetting of kernels. In the case of wheat, a high negative correlation was observed between the number of internal cracks and the mechanical parameters under study. No such correlation was found in the case of barley.

Key words: wheat and barley kernels, wetting, internal damage, compressive strength, modulus of elasticity

Recenzent: dr hab. Elżbieta Kusińska