Acta Agrophysica, 2003, 93, 145-155

ZASTOSOWANIE METODY JEDNOOSIOWEGO ŚCISKANIA DO WYZNACZANIA PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA PSZENICY

Wanda Woźniak

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
e-mail: wanda@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości, pracy właściwej, modułu sprężystości i odkształcenia wycinków ziarna pszenicy, wyznaczonych w teście jednoosiowego ściskania. Zaprezentowano zmiany właściwości mechanicznych ziarna nawilżanego w różnym czasie i suszonego w warunkach pokojowych oraz ziarna suszonego mikrofalowo. Nawilżanie ziarna spowodowało uszkodzenia wewnętrzne ziarna oraz spadek jego wytrzymałości, pracy właściwej oraz modułu sprężystości o około 50%. Ziarniaki o szklistym typie bielma charakteryzowały się zdecydowanie wyższymi wartościami parametrów mechanicznych niż ziarniaki mączyste. Zastosowane suszenie mikrofalowe spowodowało również uszkodzenia wewnętrzne ziarna i istotny, w stosunków do kontroli, spadek wartości wszystkich badanych parametrów mechanicznych.

Słowa kluczowe: wytrzymałość na ściskanie, moduł sprężystości, odkształcenie, praca właściwa, ziarno pszenicy

WSTĘP

Nawilżania ziarna występuje zarówno w okresie przedzbiorowym, kiedy w pełni dojrzałe ziarniaki są intensywnie nawilżane podczas deszczu lub rosy, jak i w trakcie kondycjonowania kiedy ziarno w sposób świadomy jest nawilżane w celu przygotowania do przemiału. W młynarstwie nawilżanie ziarna podnosi jego wydajność przemiałową.

Jednym z procesów obróbki rozbiorowej ziarna pszenicy jest suszenie. Suszenie przy użyciu mikrofal jest szybsze niż przy stosowaniu tradycyjnych metod, a ponadto jest energooszczędne. Pojawia się jednak problem doboru takich parametrów

suszenia, aby otrzymany materiał nie tracił korzystnych właściwości użytkowych i reprodukcyjnych.

Zarówno intensywne nawilżanie jak i suszenie ziarna prowadzi do gwałtownego wzrostu naprężeń, które wywołują charakterystyczne pęknięcia poprzeczne bielma [4,7,8]. W tym miejscu warto postawić pytanie, na ile powstające w wyniku nawilżania pęknięcia bielma mogą zmieniać fizyczne właściwości ziarna. Wśród szeregu właściwości fizycznych, właściwości mechaniczne są najbardziej związane ze strukturą bielma. Zastosowanie techniki rentgenograficznej, która pozwala ocenić stan fizyczny badanego obiektu nie niszcząc go, stało się wyjątkowo przydatne przy ocenie wpływu uszkodzeń wewnętrznych bielma na właściwości mechaniczne ziarniaka.

Niniejsza praca prezentuje wyniki zastosowania metody jednoosiowego ściskania próbek rdzeniowych wyciętych z ziarniaka do wyznaczania parametrów mechanicznych ziarna oraz pokazuje jak zmieniają się podstawowe parametry mechaniczne ze wzrostem uszkodzeń wewnętrznych, powstałych w wyniku nawilżania suchego ziarna oraz suszenia mikrofalowego.

MATERIAŁ I METODYKA

Przygotowanie materiału do badań

Nawilżanie suchego ziarna pszenicy

Badania przeprowadzono na próbach ziarna pszenicy jarej odmiany Henika o mączystym i szklistym typie bielma. Ziarniaki o wilgotności około 10%, bez uszkodzeń wewnętrznych poddano nawilżaniu w wodzie w czasie 1, 3, 6 i 9 godzin, a następnie wysuszono do wilgotności początkowej (w warunkach pokojowych). Z każdej próby wybrano po 30 ziarniaków i przy użyciu specjalnie skonstruowanego przyrządu przygotowano próbkę rdzeniową o wysokości 3,5 mm. Określono pole powierzchni podstaw oraz pole powierzchni przekroju w jej centralnej części (jako przybliżenie przyjęto pole koła) [5].

Przygotowane do badań ziarniaki naklejano na papierze samoprzylepnym i poddawano detekcji rentgenowskiej. Miękkie promieniowanie rentgenowskie jest w różnym stopniu pochłaniane przez uszkodzone i nie uszkodzone struktury ziarna i stąd na obrazie możliwe jest wyróżnienie pola zarodka o wyraźnie jaśniejszym tle w porównaniu z tłem bielma, ciemniejszej bruzdki i uszkodzeń bielma (fot. 1 i 2).

Obrazy rentgenowskie analizowano przy zastosowaniu programu komputerowego „ZIARNA" opracowanego we współpracy Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie i Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej [3]. Stan uszkodzenia bielma określano liczbą pęknięć [5].

Fot. 1. Rentgenowski obraz ziarniaka pszenicy z uszkodzeniami wewnętrznymi powstałymi podczas nawilżania i suszenia
Photo. 1. X-ray images of the kernels with internal stress cracks as a results of wetting and drying

Fot. 2. Rentgenowski obraz centralnej części ziarniaka pszenicy przygotowanego do badań wytrzymałościowych: a) bez uszkodzeń, b) z uszkodzeniami wewnętrznymi powstałymi podczas nawilżania i suszenia
Photo. 2. X-ray images of the central part of kernels: a) undamaged, b) with internal stress cracks as a results of wetting and drying

Suszenie mikrofalowe ziarna pszenic

Ziarno pszenicy ozimej odmiany Almari o wilgotności 11% zostało nawilżone do 20% i 25% wilgotności. Po zważeniu rozmieszczono je cienką warstwą na sicie wewnątrz komory mikrofalowej i poddano działaniu mikrofal o częstotliwości 2450 MHz i stałej mocy $P = 50$ W. Przez warstwę ziarna przepływało jednocześnie powietrze o temperaturze 50°C, ze stałą prędkością 0,6 $m \cdot s^{-1}$. Suszenie kolejnych próbek ziarna trwało 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5; 15,0; 20,0; 25,0 minut. Po

zakończonym suszeniu mikrofalowym próbki ziarna ważono i dosuszano w temperaturze 28°C przez trzy doby. Jako kontrolę przyjęto ziarno nawilżone do 20% i 25%, a następnie suszone przez pięć dób w temperaturze 28°C bez udziału mikrofal [6].

Stan uszkodzenia bielma, zarejestrowany na kliszach rentgenowskich, opisano sumarycznym wskaźnikiem uszkodzeń *IS* [1,2]. Do badań wytrzymałościowych przygotowano po 30 próbek rdzeniowych z każdej kombinacji doświadczenia [6].

Na fotografii 3 pokazano rentgenowski obraz suszonego mikrofalowo wycinka ziarniaka, przygotowanego do badań wytrzymałościowych.

Fot. 3. Rentgenowski obraz centralnej części ziarniaka pszenicy suszonego z udziałem mikrofal
Photo. 3. X-ray images of the central part of microwave-dried wheat grain

Wyznaczanie parametrów mechanicznych

Testy mechaniczne wykonano przy pomocy maszyny wytrzymałościowej Instron model 6022, stosując głowicę o zakresie 1 kN i prędkość przemieszczenia 0,1 $mm \cdot min^{-1}$. Pozbawiony końców ziarniak ustawiano między dwoma równoległymi płytkami i poddawano jednoosiowemu ściskaniu. Rejestrowano siłę w funkcji przemieszczenia (rys. 1). Siłę wyznaczano z dokładnością ±1 N, a przemieszczenie ± 0,01 mm. Wyznaczono wytrzymałość na ściskanie, pracę właściwą, moduł sprężystości i odkształcenie ziarna [5,6].

WYNIKI

Badanie skutków mechanicznych nawilżania suchego ziarna

Przeprowadzona analiza wariancji dla liczby pęknięć wewnętrznych ziarniaka w układzie „typ struktury bielma x czasy nawilżania" wykazała, że zadane czasy nawilżania spowodowały istotne zróżnicowanie średnich. Średnia liczba pęknięć rosła w miarę wzrostu czasu nawilżania ziarna – do 6 godzin; po dłuższym nawilżaniu malała (rys. 3). Nie stwierdzono natomiast istotnego wpływu typu struktury bielma na liczbę pęknięć w centralnej części ziarniaka (rys. 4).

Rys. 3. Średnia liczba pęknięć i 95% przedziały ufności Tukey'a ziarna pszenicy nawilżanego w różnym czasie

Rys. 3. Mean number of cracks and 95% Tukey intervals of confidence of wheat grain as affected by wetting time

Rys. 4. Średnia liczba pęknięć i 95% przedziały ufności Tukey'a ziarna pszenicy o mączystej i szklistej strukturze bielma

Rys. 4. Mean number of cracks and 95% Tukey intervals of confidence of mealy and vitreous wheat grain

Analiza wariancji dla wytrzymałości na ściskanie (σ_{max}), modułu sprężystości (E), i pracy właściwej (w) w układzie „typ struktury bielma x czasy nawilżania" wykazała, że obydwa czynniki spowodowały istotne zróżnicowanie średnich. Stwierdzono wysoką, ujemną korelację pomiędzy badanymi parametrami mechanicznymi ziarna a zastosowanymi czasami nawilżania ziarna (rys. 5-7).

Rys. 5. Zależność wytrzymałości na ściskanie (σ_{max}) od czasu nawilżania ziarna pszenicy - mączystego i szklistego

Fig. 5. Compressive strength (σ_{max}) vs. wetting time of mealy and vitreous wheat grain

Rys. 6. Zależność modułu sprężystości od czasu nawilżania ziarna pszenicy – mączystego i szklistego

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

Rys. 7. Zależność pracy właściwej od czasu nawilżania ziarna – mączystego i szklistego

Fig. 7. Specific work. vs. wetting time of mealy and vitreous wheat grain

Podobnie wysoka, ujemna korelacja wystąpiła między parametrami mechanicznymi ziarna a liczbą pęknięć wewnętrznych (rys. 8-10).

Rys. 8. Zależność wytrzymałości na ściskanie (σ_{max}) od liczby pęknięć wewnętrznych ziarna pszenicy

Fig. 8. Compressive strength vs. number of inner cracks of wheat grain

Rys. 9. Zależność modułu sprężystości od liczby pęknięć wewnętrznych ziarna pszenicy

Fig. 9. Modulus of elasticity vs. number of inner cracks of wheat grain

Rys. 10. Zależność pracy właściwej od liczby pęknięć wewnętrznych ziarna pszenicy
Fig. 10. Specific work. vs. number of inner cracks of wheat grain

Badanie skutków mechanicznych suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy

Analiza wariancji dla badanych parametrów mechanicznych ziarna suszonego mikrofalowo wykazała, że wilgotność początkowa nie spowodowała istotnego zróżnicowania średnich. Duże zróżnicowanie spowodowały natomiast zastosowane czasy suszenia mikrofalowego. W miarę wydłużania czasu suszenia malała wytrzymałość ziarna i moduł sprężystości, rosły natomiast wartości odkształcenia. Stwierdzono wysoką, istotną korelację pomiędzy czasem suszenia i wszystkimi badanymi parametrami mechanicznymi. Wysokie korelacje upoważniły do przyjęcia modelu liniowego dla opisania tych zależności (rys. 11-13).

Rys. 11. Zależność wytrzymałości na ściskanie od czasu suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy
Fig. 11. Compressive strength vs. microwave drying time of wheat grain

Rys. 12. Zależność modułu sprężystości od czasu suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy
Fig. 12. Modulus of elasticity vs. microwave drying time of wheat grain

Rys. 13. Zależność odkształcenia od czasu suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy
Fig. 13. Deformation vs. microwave drying time of wheat grain

Wytrzymałość ziarna i moduł sprężystości malały w miarę wzrostu wskaźnika *IS*, odkształcenie zaś rosło. W tym przypadku również wysokie korelacje upoważniły do przyjęcia modelu liniowego dla opisania badanych zależności. Na rysunkach 14 - 16 pokazano estymowane proste, a punkty odpowiadają wartościom średnim z 60 obserwacji źródłowych.

Rys. 14. Zależność wytrzymałości na ściskanie od wskaźnika uszkodzeń wewnętrznych ziarna pszenicy suszonego mikrofalowo
Fig. 14. Compressive strength vs. damage index of micro-wave-dried wheat grain

Rys. 15. Zależność modułu sprężystości od wskaźnika uszkodzeń wewnętrznych ziarna pszenicy suszonego mikrofalowo
Fig. 15. Modulus of elasticity vs. damage index of microwave-dried wheat grain

Rys. 16. Zależność odkształcenia od wskaźnika uszkodzeń wewnętrznych ziarna pszenicy suszonego mikrofalowo
Fig. 16. Deformation vs. damage index of microwave-dried wheat grain

DYSKUSJA

Podsumowując można stwierdzić, że zarówno nawilżanie ziarna o niskiej wilgotności początkowej, jak i suszenie mikrofalowe spowodowało uszkodzenie bielma. Wzrost uszkodzeń wewnętrznych spowodował z kolei spadek wytrzymałości ziarna, modułu sprężystości i wartości pracy właściwej. Nawilżanie ziarna nie miało istotnego wpływu na odkształcenie ziarna. Przy suszeniu mikrofalowym zastosowane czasy istotnie różnicowały odkształcenie ziarna.

Należy jednak pokreślić, że o ile na wartości wskaźników uszkodzeń wewnętrznych nie wpływał istotnie typ struktury bielma, to różnicował on wyraźnie parametry wytrzymałościowe. Zatem spadku wytrzymałości, modułu sprężystości i pracy właściwej podczas ściskania jednoosiowego ziarna nie można wiązać tylko (bezpośrednio) ze wzrostem wskaźnika uszkodzeń wewnętrznych, ale być może z różną budową bielma mączystego i szklistego. Niemniej jednak, problem spadku wytrzymałości ziarna uszkodzonego w wyniku zmian wilgotności istnieje i należy brać go pod uwagę przy doborze warunków obróbki pozbiorowej, bowiem ziarno popękane będzie bardziej podatne na kruszenie, łamanie i pękanie w transporcie oraz podczas przechowywania. Niezwykle istotny staje się także problem doboru takich parametrów suszenia, aby otrzymany materiał oprócz właściwej wilgotności finalnej charakteryzował się jak najmniejszym stopniem uszkodzenia endospermu.

WNIOSKI

1. Nawilżanie ziarna spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie, pracy właściwej oraz modułu sprężystości o około 50%. Stwierdzono wysoką, ujemną korelację pomiędzy badanymi cechami a czasem nawilżania ziarna. Nie dotyczyło to odkształcenia ziarna.

2. Typ struktury bielma (mączysty, szklisty) nie wpływał istotnie na liczbę wykrytych pęknięć, miał natomiast istotny wpływ na wartości parametrów mechanicznych - ziarniaki o szklistym typie bielma charakteryzowały się zdecydowanie wyższymi wartościami parametrów mechanicznych od ziarniaków mączystych.

3. Wytrzymałość ziarna, praca właściwa i moduł sprężystości korelują z liczbą pęknięć wewnętrznych.

4. Zastosowane suszenie mikrofalowe spowodowało uszkodzenia wewnętrzne ziarna. Względny przyrost wskaźników uszkodzeń ziarna najdłużej suszonego (25 minut) wyniósł, w stosunku do kontroli, około 200%. Tak duży wzrost uszkodzeń wewnętrznych spowodował z kolei spadek wytrzymałości ziarna o 26% i modułu sprężystości o 46%. Odkształcenia ziarna z najwyższym wskaźnikiem uszkodzeń wewnętrznych były o 20% większe niż odkształcenia ziarna kontrolnego.

PIŚMIENNICTWO

1. **Niewczas J.:** The method of determination of the index of mechanical damage of a single kernel by means of X-ray detection. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 389, 89-95, 1991.
2. **Niewczas J, Woźniak W.:** Application of the discretization of an X-ray picture of with grain for the evaluation of endosperm cracks. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 397, 45-51, 1991.
3. **Strumiłło P., Niewczas J., Szczypiński P., Makowski P., Woźniak W.:** Computer system for analysis of X-ray images of wheat grains. Int. Agrophysics, 13, 133-140, 1999.
4. **Woźniak W.:** The effect of two types moisture treatment of wheat grain on endosperm damage. Int. Agrophysics, 9, 165-170, 1995.
5. **Woźniak W.:** Mechanical properties of wheat grain in relation to internal cracks. Int. Agrophysics, 15(1), 59-64, 2001.
6. **Woźniak W., Niewczas J., Kudra T.:** Internal damage vs. mechanical properties of microwave-dried wheat grain. Int. Agrophysics, 13, 259-268, 1999.
7. **Woźniak W.; Styk W.:** Internal damage to wheat grain as results of wetting and drying. Drying Technology, 14(2), 349-367, 1996.
8. **Woźniak W., Styk W., Geodecki M.:** High relative humidity as a cause of inner damage of wheat grain. Int. Agrophysics, 8 (2), 377-381, 1994.

APPLICATION OF UNIAXIAL COMPRESSION FOR EVALUATION OF BASIC MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT GRAIN

Wanda Woźniak

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-236 Lublin
e-mail: wanda@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. This paper presents the results of investigations of the compressive strength, the strain, the modulus of elasticity and the specific work during uniaxial compression of core specimens between parallel flat plates. Mechanical properties were determined for grains wetted for different time, and dried in room conditions, as well as for grains dried in a microwave oven. Wetting caused inner damage of grain and decrease of the strength, the specific work and the modulus of elasticity by about 50%. Vitreous kernels were characterised by higher values of mechanical properties than mealy one. Microwave drying also caused inner damage of grain and resulted in the decrease of all mechanical properties.

Keywords: compressive strength, modulus of elasticity, strain, specific work, wheat grain