

WPLYW WYBRANYCH SPOSOBÓW SUSZENIA  
NA PĘKANIE I KRUSZENIE SIĘ ZIAREN PSZENICY  
PODCZAS OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH

*J. Niewczas*

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

**Streszczenie:** W warunkach laboratoryjnych dokonano obciążeń dynamicznych pojedynczych ziaren trzech odmian pszenicy ozimej (Kamila, Kobra, Roma), których próbki były uprzednio nawilżone, a następnie ponownie suszone trzema sposobami: w temperaturze otoczenia, w suszarce z nawiewem ciepłego powietrza bez udziału i z udziałem mikrofal. Materiałem kontrolnym były ziarna nie nawilżane. Ocenie podlegała liczba ziaren pokruszonych (makro-uszkodzeń) i przyrost pęknięć wewnętrznych bielma (mikro-uszkodzeń) w wyniku zastosowanych obciążeń. Stan mikro-uszkodzeń w ziarnach, wyrażony przy pomocy wskaźnika uszkodzeń, oceniany był przed i po obciążeniach przy pomocy systemu komputerowej analizy obrazów rentgenowskich.

Stwierdzono, że zastosowane sposoby suszenia miały wpływ na stan destrukcji ziaren po obciążeniach. Na poziom makro-uszkodzeń zaznaczył się dominujący wpływ temperatury suszenia. Na przyrost mikro-uszkodzeń istotny wpływ miał sam fakt, że ziarno było nawilżane, niezależnie od sposobu jego ponownego suszenia. Jednakże u ziaren suszonych z udziałem mikrofal zanotowano największy przyrost pęknięć. Istotny wpływ na kruszenie się ziaren miał również ich wcześniejszy stan pęknięć.

**Słowa kluczowe:** ziarno pszenicy, nawilżanie, suszenie mikrofalowe, uszkodzenia, analiza obrazów rentgenowskich.

## WSTĘP

Znajomość właściwości suszonego ziarna jest niezwykle ważna. Między innymi, ziarno po suszeniu ma swoisty "bagaż" uszkodzeń, które powstały nie tylko w wyniku samego procesu suszenia, ale także tych, które pochodzą z wcześniejszych etapów obróbki technologicznej (podczas zbioru), a nawet pęknięć wewnętrznych, które powstały jeszcze przed zbiorem (w polu), w wyniku zmiennych warunków atmosferycznych [1, 2, 3]. W pracy Woźniak i in. [10] przedstawiono właściwości mechaniczne wycinków ziaren pszenicy, wyznaczone w testach obciążeń statycznych. Ziarno użyte do tych badań było nawilżane, a następnie suszone w różnym czasie z udziałem mikrofal. Stwierdzono, że istnieją ściśle zależności między czasem suszenia, wskaźnikami uszkodzeń wewnętrznych ziaren i właściwościami mechanicznymi.

Zależność wskaźnika uszkodzeń od czasu suszenia nawilżanego ziarna i sposobów jego suszenia (bez udziału i z udziałem mikrofal) potwierdzono w pracy Niewczasa i Woźniak [4]. Natomiast w pracy Woźniak i Niewczasa [9] pokazano wpływ tych samych czynników na twardość technologiczną suszonego ziarna, określaną przy pomocy aparatu SKCS. Celem niniejszej pracy było poznanie zachowania się tego samego materiału ziarnowego i suszonego tymi samymi sposobami podczas obciążeń dynamicznych. Można było spodziewać się, że oprócz ziaren z pęknięciami wewnętrznymi i drobnymi uszkodzeniami zewnętrznymi (tak zwanymi mikro-uszkodzeniami), pewna liczba ziaren pokruszy się (makro-uszkodzenia). Chodziło o to, by zbadać które czynniki mają decydujący wpływ na przyrost mikro-uszkodzeń, a które na powstawanie makro-uszkodzeń oraz jakiego stopnia destrukcji ziarna można spodziewać się w wyniku zastosowanych obciążeń.

Do prowadzenia tego rodzaju badań w warunkach laboratoryjnych niezbędna jest aparatura do modelowania oddziaływań dynamicznych [6,7,8]. Ze statystycznego punktu widzenia najbardziej efektywny jest taki sposób przeprowadzenia testów, który zapewniałby pełną identyfikację ziaren przed i po obciążeniach.

## MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym do testów obciążeń dynamicznych były próbki ziarna trzech odmian pszenicy ozimej (Kamila, Kobra, Roma) przygotowane i suszone identycznie jak w opisie materiału i metodyki w pracy [4]. Każda odmiana reprezentowana była przez cztery próbki ziarna:

ks - próbka ziarna powietrznie suchego (10% wilgotności), które nie było poddane żadnym zabiegom;

km - próbka ziarna nawilżona do wilgotności 21% i wysuszona w temperaturze otoczenia do wilgotności początkowej,

bmf - próbka ziarna nawilżona jak wyżej, suszona w suszarce z nawiewem ciepłego powietrza przez 28 min. i dosuszona w warunkach otoczenia do wilgotności początkowej;

zmf - próbka ziarna nawilżona jak wyżej, suszona w suszarce z nawiewem ciepłego powietrza i z udziałem mikrofal przez 28 min., dosuszona jak wyżej.

Badania wpływu obciążeń dynamicznych na kruszenie się i pękanie ziaren przeprowadzono przy użyciu urządzenia do dynamicznych obciążeń nasion [8]. Jest to urządzenie opracowane w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie (1994 r.). Pozwala ono na wykonywanie testów przy dowolnie wybranej, regulowanej w sposób ciągły, prędkości bijaka osadzonego w wirującym korpusie. Istnieje także możliwość dowolnej orientacji nasion względem powierzchni uderzającej bijaka. Magazynki na nasiona (do 10 sztuk pojemności), umożliwiają wcześniejsze przygotowanie eksperymentu, a następnie automatyczne wykonanie wielu serii testów w krótkim czasie.

W doświadczeniach testy przeprowadzono przy położeniu ziaren zapewniającym uderzenie w grzbiet. Wyboru prędkości bijaka dokonano na podstawie badań wstępnych.

### Badania wstępne

Do badań tych użyto po 30 ziaren trzech wspomnianych odmian pszenicy, suszonych z udziałem mikrofal ( $t=28\text{min}$ ), a więc pochodzących z próbek ziarna o największym stopniu uszkodzeń wewnętrznych. Ziarna były wyrównane pod względem wielkości. Zastosowano trzy prędkości bijaka:  $v_1=20\text{m/s}$ ,  $v_2=25\text{m/s}$ ,  $v_3=30\text{m/s}$ . Przy prędkości bijaka  $v_1$  stwierdzono znikomy przyrost pęknięć i poniżej 5% ziaren rozkruszonych. Przy prędkości  $v_3$  odsetek takich ziaren wynosił 33%. Do badań zasadniczych zdecydowano się wybrać prędkość  $v_2$ , gdyż wówczas odsetek ziaren rozkruszonych wynosił około 14%, zaś u pozostałych ziaren przyrost pęknięć zidentyfikowanych na ich obrazach rentgenowskich był zauważalny.

## Przygotowanie materiału i przeprowadzenie doświadczenia

Wszystkie ziarna wybranych próbek były najpierw pojedynczo zważone i utworzono dla nich histogramy częstości występowania ziaren o określonej masie. Na tej podstawie określono jeden wspólny przedział mas, z którego pobierano wszystkie ziarna do obciążeń dynamicznych. Przedział ten był na tyle wąski, by ziarna nie różniły się zbyt masą i jednocześnie na tyle szeroki, by można było wybrać do badań odpowiednio dużą liczbę ziaren z każdej kombinacji doświadczenia, uwzględniając szczególnie zróżnicowanie mas między odmianami. Przedziałem takim okazał się przedział od 34 mg do 40 mg. Po tej wstępnej selekcji, do obciążeń dynamicznych wybrano ostatecznie ze wszystkich próbek po 120 ziaren, które ponadto były najbardziej wyrównane pod względem wielkości. Wyselekcjonowana próba (1440 ziaren) miała następujące charakterystyki statystyczne masy:

średnia: 37,1 mg, odchylenie stand.: 1,8 mg, współczynnik zmienności: 4,9 %.

Podczas przebiegu doświadczenia zapewniono pełną identyfikację ziaren. Próbkę ziaren najpierw prześwietlono aparatem rentgenowskim, następnie dla każdego ziarna wyznaczono wskaźnik uszkodzeń  $IS$  [4, 5]. Z kolei ziarna oznaczono odpowiednio i poddano obciążeniom dynamicznym. Następnie zliczono ziarna pokruszone zaś te, które nie uległy pokruszeniu ponownie prześwietlono promieniami X i wyznaczono dla nich wskaźniki uszkodzeń  $IS$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

### Analiza makro-uszkodzeń

W tabeli 1 podano zestawienie liczby ziaren pokruszonych (z makro-uszkodzeniami) w wyniku obciążeń dynamicznych. Z zestawienia tego wynika, że w całym doświadczeniu wystąpiło 7,1% ziaren pokruszonych. Ponadto widać dużo większe zróżnicowanie liczby ziaren pokruszonych między odmianami niż sposobami ich traktowania przed obciążaniem (ks, km, bmf, zmf). Daje się również zauważyć, że wśród ziaren traktowanych zadanymi sposobami można wyróżnić dwie grupy, różniące się dość znacznie liczbą ziaren pokruszonych:

grupa I: ks i km; grupa II: bmf i zmf.

Dość wyraźne wyodrębnienie się tych grup sugeruje dominujący wpływ temperatury suszenia na kruszenie się ziaren.

**Tabela 1.** Liczba ziaren pokruszonych (makro-uszkodzeń) w poszczególnych kombinacjach doświadczenia w wyniku obciążeń dynamicznych

**Table 1.** A number of crumbled grains (macro-damage) in each combination of experiment as a result of the applied dynamic loads

Odmiany	Sposoby traktowania ziaren				Suma
	ks	km	bmf	zmf	
Kamila	6	4	8	5	23
Kobra	8	4	12	13	37
Roma	7	11	10	14	42
Suma	21	19	30	32	102

Jednakże szczegółowe analizy statystyczne (testy  $\chi^2$ ) wykazały istotne zróżnicowanie jedynie pomiędzy odmianami Kamila i Roma, ale brak takiego zróżnicowania między sposobami traktowania ziaren przed ich obciążaniem. Również wśród odmian nie stwierdzono istotnego zróżnicowania liczby ziaren pokruszonych w próbkach, które odpowiadały poszczególnym sposobom ich traktowania, o czym świadczą liczby w kolejnych kolumnach tabeli 1. Prawdopodobnie zbyt małe liczebności ziaren pokruszonych w niektórych kombinacjach doświadczenia uniemożliwiły ujawnienie się istotnych różnic między ziarnami suszonymi w różny sposób.

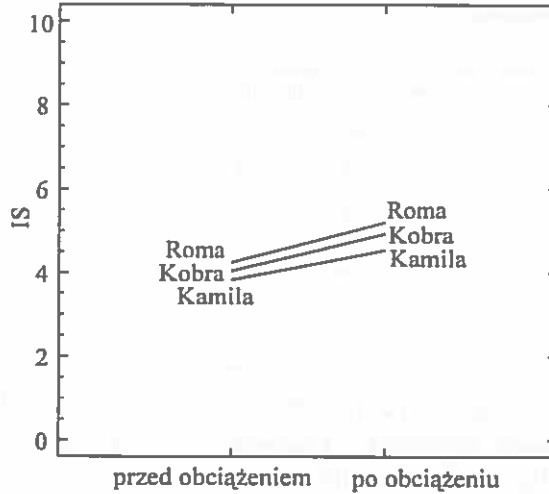
### Analiza mikro-uszkodzeń

Stan mikro-uszkodzeń ziaren oceniono przy pomocy wskaźnika *IS*. Do analizy wybrano ze zbioru wszystkich danych wejściowych *IS* jedynie te, które dotyczyły ziaren, które w wyniku obciążeń dynamicznych nie uległy pokruszeniu. Dla tych wskaźników *IS* wykonano analizę wariancji w układzie:

A - odmiany, B - sposoby traktowania, C - obciążanie (przed i po obciążeniach).

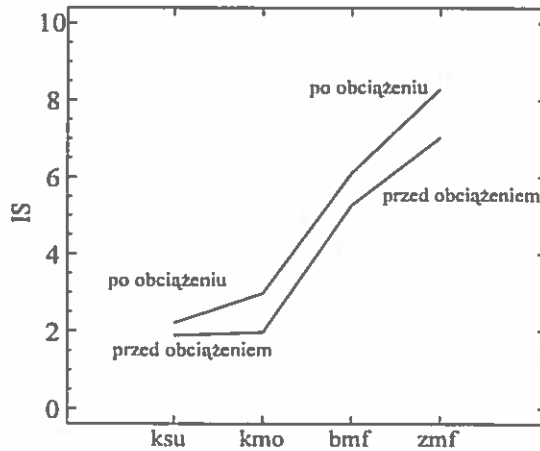
Wszystkie badane czynniki spowodowały istotne zróżnicowanie średnich *IS* na poziomie istotności  $\alpha < 0,0001$ . Największe zróżnicowanie wystąpiło między sposobami traktowania ziaren przed testami dynamicznymi, mniejsze - między średnimi *IS* przed i po obciążeniach, a najmniejsze - między odmianami. Wystąpiły też interakcje między czynnikami A i B oraz B i C. Średni przyrost wskaźnika *IS* spowodowany obciążeniami dynamicznymi wynosił 0,86 i był istotny. W wyniku obciążeń nie zmieniła się kolejność odmian pod względem podatności na

uszkodzenia (rys.1), lecz wystąpiło między nimi większe zróżnicowanie *IS*. Podobne zjawisko wystąpiło w przypadku sposobów traktowania ziaren (rys.2).



Rys.1. Średnie wartości *IS* dla kombinacji "odmiany x obciążenie".

Fig.1. Mean values of *IS* index for combinations "varieties x loading".



Rys. 2. Średnie wartości *IS* dla kombinacji "obciążenie x sposoby traktowania"

Fig.2. Mean values of *IS* index for combinations "loading x treatments".

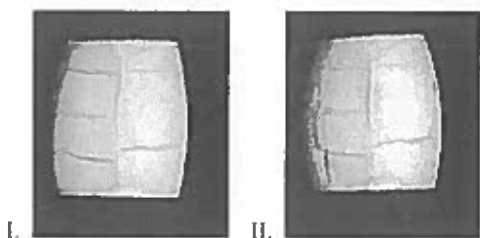
Ważna była również wielkość przyrostów wskaźnika w wyniku obciążeń ( $\Delta IS$ ) - zarówno dla odmian jak i dla sposobów traktowania ziaren. Wszystkie te przyrosty były wprawdzie istotnie większe od zera, lecz z praktycznego punktu widzenia nie były one zbyt duże. Średnie przyrosty wskaźnika  $IS$  dla odmian były w granicach od 0,76 (Kamila) do 1,05 (Roma), a więc niewielkie, aczkolwiek istotnie różnicujące te skrajne wyniki. Średnie przyrosty  $\Delta IS$  dla sposobów traktowania były bardziej zróżnicowane:

Sposoby traktowania	$\Delta IS$
ks	0,39
km	1,05
bmf	0,92
zmf	1,29

Przyrost istotny ( $\alpha=0,05$ ), gdy  $\Delta IS > 0,36$ .

Zwraca uwagę mała wartość  $\Delta IS$  dla ks w porównaniu z pozostałymi sposobami traktowania ziaren. Stąd wniosek, że wystarczyło ziarno nawilżyć i w dowolny sposób je wysuszyć, aby spowodować dość znaczny przyrost pęknięć w wyniku obciążeń dynamicznych w porównaniu z ks. Spośród sposobów suszenia (km, bmf, zmf) największy przyrost wystąpił dla ziaren suszonych z udziałem mikrofal. Był on istotnie wyższy niż dla ziaren suszonych bez udziału mikrofal. W przypadku km i bmf nie wystąpiło istotne zróżnicowanie przyrostów  $\Delta IS$ .

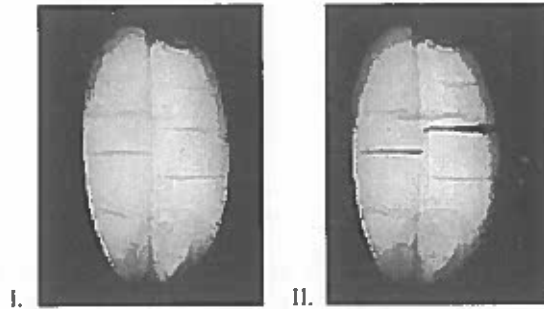
Przedstawione poniżej fotografie ilustrują różnice między skutkami obciążeń statycznych i dynamicznych pojedynczych ziaren. Na fot. 1 pokazano obrazy rentgenowskie centralnej części ziarniaka przed i po obciążeniu statycznym, wykonanym na maszynie INSTRON, w związku ze ścisłymi badaniami wytrzymałości ziarna [10].



Fot. 1. Obrazy rentgenowskie centralnej części ziarna pszenicy przed (I) i po (II) obciążeniach statycznych, wykonanych przy użyciu maszyny INSTRON.

Photo 1. A X-ray images of central part of wheat kernel, before (I) and after (II) static loading, performed by using INSTRON machine.

Jest widoczny wyraźny przyrost pęknięć wewnętrznych w wycinku ziarna po takim obciążeniu. Oprócz pęknięć poprzecznych do bruzdki pojawiły się również pęknięcia podłużne. Na fot. 2 pokazano obrazy rentgenowskie ziarniaka przed i po obciążeniu dynamicznym. Daje się zauważyć, że po działaniu tego rodzaju obciążeń nie tylko pęknięć przybywa, ale również te, które już istniały, stają się bardziej wyraźne.



Fot. 2. Obrazy rentgenowskie ziarna przed (I) i po (II) obciążeniu dynamicznym, wykonanym przy użyciu urządzenia opisanego w pracy [8].

Photo2. A X-ray images of wheat kernel before (I) and after (II) dynamic loading, performed by using a device described in paper [8].

### Wpływ wielkości $IS$ przed obciążeniami na kruszenie się ziaren

Następnym zagadnieniem, na które starano się znaleźć odpowiedź, było pytanie, czy wielkość wskaźników  $IS$  przed obciążaniem dynamicznym ziaren miała wpływ na ich kruszenie się podczas obciążeń. Szczegółowe analizy statystyczne, przeprowadzone dla każdej kombinacji doświadczenia osobno wskazują, że małe liczebności ziaren pokruszonych w niektórych kombinacjach nie pozwalają na wysoki poziom wnioskowania. Spośród wszystkich 12 kombinacji, w 9 wskaźnik uszkodzeń ziaren, które pokruszyły się w wyniku obciążeń dynamicznych był wyższy niż tych, które nie uległy tej destrukcji. Z tej liczby tylko w 5 kombinacjach różnice były istotne na poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Analiza globalna (po wszystkich odmianach i sposobach traktowania) wykazała, że średni wskaźnik  $IS$  ziaren, które nie pokruszyły się wynosił 3,99, zaś tych które uległy pokruszeniu wynosił 4,64 i był istotnie wyższy od poprzedniego.

Wszystkie badane czynniki (odmiany, sposoby traktowania ziaren i wielkość wskaźnika uszkodzeń przed obciążeniami dynamicznymi) wyjaśniały poziom makro-uszkodzeń w około 80%. Średni wskaźnik  $IS$  wyznaczony dla ziaren, które



uległy pokruszeniu słabo korelował z ich odsetkiem w próbkach poszczególnych kombinacji ( $r \approx 0,3$ ). Poziom makro-uszkodzeń zapewne zależy również od dyslokacji istniejących pęknięć wewnątrz ziarna, od ich kształtu i wielkości, czego wskaźnik *IS* nie uwzględnia. Innymi, nie kontrolowanymi, a istotnymi przyczynami powstawania makro-uszkodzeń mogły być także cechy morfologiczne pojedynczych ziaren, np. szerokość i głębokość bruzdki.

### WNIOSKI

- Efektem obciążeń dynamicznych może być pewien odsetek ziaren, które ulegają rozkruszeniu (makro-uszkodzenia) bądź też, w wyniku których następuje przyrost pęknięć (mikro-uszkodzeń), identyfikowalnych metodą rentgenowską. Zarówno liczba ziaren pokruszonych jak i przyrost pęknięć zależy od zastosowanej prędkości uderzenia bijaka w ziarno.
- Przy ustalonej prędkości uderzenia (25m/s), spośród zbadanych czynników (odmiany i sposoby traktowania ziaren przed obciążeniami), największe zróżnicowanie poziomu makro-uszkodzeń wystąpiło między odmianami, a największy wpływ na przyrost mikro-uszkodzeń miały sposoby traktowania ziaren.
- Sposoby traktowania ziaren przed obciążeniami również w odmienny sposób wpływały na oba rodzaje destrukcji. Na poziom makro-uszkodzeń wyraźnie zaznaczył się dominujący wpływ wyższej temperatury suszenia. W przypadku mikro-uszkodzeń stwierdzono istotny wpływ samego procesu nawilżania ziaren, niezależnie od późniejszego sposobu ich suszenia. Niemniej jednak, u ziaren suszonych z udziałem mikrofal stwierdzono największe przyrosty mikro-uszkodzeń.
- Ziarna, które pokruszyły się, przed obciążeniami dynamicznymi miały średni wskaźnik uszkodzeń istotnie wyższy niż te, które nie uległy tej destrukcji.
- Zaobserwowano, że w wyniku obciążeń dynamicznych nie tylko przybywało pęknięć lecz także występujące wcześniej wyraźnie powiększyły się.

### PIŚMIENNICTWO

1. Geodecki M.: Uszkodzenia wewnętrzne ziarna pszenicy powstające w okresie przed-zbiorowym. Praca doktorska. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin, 1999.
2. Milner M., Shellenberger J.A.: Physical properties weathered wheat in relation to internal fissuring detected radiographically. *Cereal Chem.*, 30, 202-212, 1953.

3. Niewczas J.: Ocena uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy wykrywanych techniką rentgenowską. Praca doktorska. Acta Agrophysica, 2, 1994.
4. Niewczas J., Woźniak W.: Wpływ suszenia mikrofalowego na zmiany struktury ziarna pszenicy. Część I - Uszkodzenia wewnętrzne. II Zjazd Naukowy PTA, Referaty i doniesienia, 233-234, 2000.
5. Strumillo P., Niewczas J., Szczypiński P., Makowski P., Woźniak W.: Computer system for analysis of X-ray images of wheat grains. Int. Agropysics, 13, 133-140, 1999.
6. Szot B., Kutzbach H.D.: Rapeseed damage as influenced by the dynamic load. Int. Agropysics, 6, 103-114, 1992.
7. Ślipek Z.: Metodyka uszkodzalności ziarna pszenicy przy obciążeniach dynamicznych. Zesz. Nauk. AR Kraków, 180, 81-90, 1983.
8. Tys J., Szwed G., Fałęcki A., Łukaszuk J.: Wykorzystanie metody dynamicznej w ocenie podatności na uszkodzenia nasion zbóż i rzepaku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 425, 265-268, 1996.
9. Woźniak W., Niewczas J.: Wpływ suszenia mikrofalowego na zmiany struktury ziarna pszenicy. Część II - Twardość technologiczna. II Zjazd Naukowy PTA, Referaty i doniesienia, 290-291, 2000.
10. Woźniak W., Niewczas J., Kudra T.: Internal damage vs. mechanical properties of microwave-dried wheat grain. Int. Agropysics, 13, 259-268, 1999.

INFLUENCE OF CHOSEN DRYING METHODS  
ON WHEAT GRAIN CRACKING AND CRUMBLING  
DURING DYNAMIC LOADS

*J. Niewczas*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
e-mail: niewczas@demeter.ipan.lublin.pl.

**Summary:** Single kernels of wheat grain (Kamila, Kobra and Roma varieties) were subjected to dynamic loading in the laboratory conditions. The grain samples were moistened and then dried using the three following methods: room temperature drying, drying in a dryer with the controlled air flow - with and without microwave assisted drying. The grains that had not been moistened were used as a control sample. The increase in the state of internal cracks of endosperm (micro-damage) and the number of crumbled grains (macro-damage), as a result of the applied loads, were subject to

a careful assessment. The state of the grain micro-damage, expressed using the damage index, was assessed before and after applying the loads using the system for computer analysis of the X-ray images.

It was determined that the applied methods of drying had the influence on the state of grain destruction as a result of loading. The macro-damage was affected mostly by higher temperature of drying. The micro-damage was affected mainly by grain moistening, independently of the later applied drying method. However the grains dried using the microwave assisted drying had the highest increase in cracks. A significant influence on grain crumbling had also its previous state of cracking.

**Keywords :** wheat grain, moistening, microwave drying, damage, analysis of X-ray image.