

## BADANIA NIEKTORYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA PSZENICY PRZY UŻYCIU INTERFEROMETRII HOLOGRAFICZNEJ

Roman Koper

Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR - Lublin

### WSTĘP

Ziarno zbóż podczas zbioru /młócenia/ oraz przy transporcie i składowaniu ulega znacznym odkształceniom. Przy odpowiednio dużych deformacjach następuje pęknięcie okrywy owocowo-nasionnej. Tak uszkodzone ziarno nie jest w pełni wartościowe i nie nadaje się do dłuższego magazynowania. Szczegółowe badania przeprowadzone przez Orzechowskiego [5] dowodzą skali takich uszkodzeń oraz określają skutki, jakie wynikają z tych uszkodzeń.

Przy wysoce zmechanizowanym zbiorze, np. za pomocą kombajnu, zostaje uszkodzonych ok. 10% ziarna [2]. Dla zmniejszenia tych strat konieczna staje się znajomość właściwości mechanicznych ziarna zbóż. Charakterystyczny jest przy tym szeroki rozrzut wyników badań. Tak np. moduł sprężystości podłużnej ziarna pszenicy, wyznaczony w różnych pracach [4, 6, 7, 8, 9], znacznie odbiegał od siebie wartościami. Otrzymane w wyniku badań wartości modułów sprężystości podłużnej mieszczą się w zakresie od 300 MPa do 4000 MPa. Tak duży rozrzut wyników utrudnia w znacznej mierze optymalizację procesów technologicznych sprzętu, transportu, przechowalnictwa i przetwórstwa zbóż.

Trudności te zwróciły uwagę na możliwość wykorzystania metody interferometrii holograficznej. Wysoka dokładność, jak i możliwość określenia odkształcenia i naprężenia w każdym punkcie badanego obiektu predysponują tę metodę do badania właściwości mechanicznych ziarna zbóż [1, 3].

## METODYKA BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH ZIARNA PSZENICY PRZY WYKORZYSTANIU INTERFEROMETRII HOLOGRAFICZNEJ

Zastosowana metodyka pomiarów miała na celu przebadanie następujących właściwości:

1. Zjawisko pełzania przy jednoosiowym ściskaniu badanej próbki ziarna.
2. Zakres odkształceń sprężystych próbki ziarna.
3. Moduł sprężystości podłużnej ziarna.

Opracowując własną metodykę badań, ziarna pszenicy z zastosowaniem interferometrii holograficznej oparto się na teorii Hooke'a. Wyniki badań cech mechanicznych ziarna zbóż oparte na tej teorii dają wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistych. Podobną metodykę stosowali wcześniej w swoich pracach Mohsenin [6] i Zoreb [9]. Jednakże w badaniach tych nie był spełniony podstawowy warunek decydujący w znacznej mierze o dokładności przeprowadzonych pomiarów. Warunkiem tym jest utrzymanie i kontrola jednoosiowości stanu naprężenia w badanej próbce ziarna. Niedotrzymanie tego warunku podczas przeprowadzania pomiarów stawia pod znakiem zapytania wiarygodność otrzymanych wyników.

Wykorzystanie interferometrii holograficznej w opracowanej metodyce pozwala na kontrolę jednoosiowości stanu naprężenia w badanej próbce ziarna pszenicy, a co za tym idzie - spełnia wszystkie warunki decydujące o wysokiej dokładności wyników.

Badania właściwości mechanicznych ziarna pszenicy przeprowadzono na odpowiednio przygotowanej próbce ziarna. Próbę stanowiła /po bardzo starannym obcięciu jego końców/ środkowa część ziarna. Technologia przygotowywania próbek do badań zapewniała idealną równoległość ścianek powstałych po obcięciu końców ziarna.

Próbkę podczas przeprowadzania pomiarów obciążano za pośrednictwem dwóch równoległych płaszczyzn siłami ściskającymi, mierząc jednocześnie wielkość odkształcenia badanej próbki. Na podstawie uzyskanych wyników określono następujące cechy mechaniczne badanego ziarna: przebieg zjawiska pełzania, zależność  $\varepsilon = f / \delta /$  oraz wyznaczono moduł sprężystości podłużnej badanej próbki ziarna. Moduł ten obliczono, stosując wzór:

$$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon} = \frac{\Delta P \cdot l_0}{F \cdot \Delta l} \quad /1/$$

gdzie:

- E - moduł sprężystości podłużnej ziarna,
- $\Delta \sigma$  - przyrost wartości naprężenia wewnętrznego,
- $\Delta \varepsilon$  - przyrost wielkości odkształcenia jednostkowego,
- $\Delta P$  - przyrost wartości działającej siły,

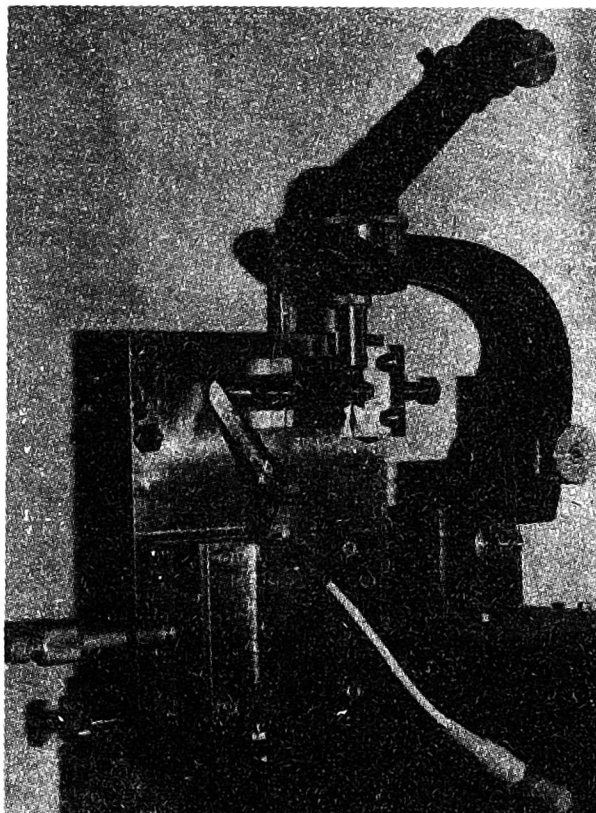
- $\Delta l$  - przyrost wielkości odkształcenia próbki ziarna,  
 $l_0$  - długość początkowa próbki ziarna,  
 $F$  - średnia wielkość pola powierzchni przekroju poprzecznego próbki ziarna.

Przyrosty wartości działającej siły, wielkości odkształcenia, a co za tym idzie - przyrosty pozostałych wielkości występujących we wzorze (1) mierzono od stanu początkowego, wywołanego obciążeniem wstępnym.

#### APARATURA UŻYTA DO BADAŃ

W celu przeprowadzenia pomiarów opisywaną metodyką badań zaprojektowano i zbudowano układ pomiarowy. Układ ten składał się z urządzenia obciążającego oraz zestawu mikroskopowego, za pomocą którego mierzono wielkość odkształceń ziarna poddanego działaniu sił ściskających.

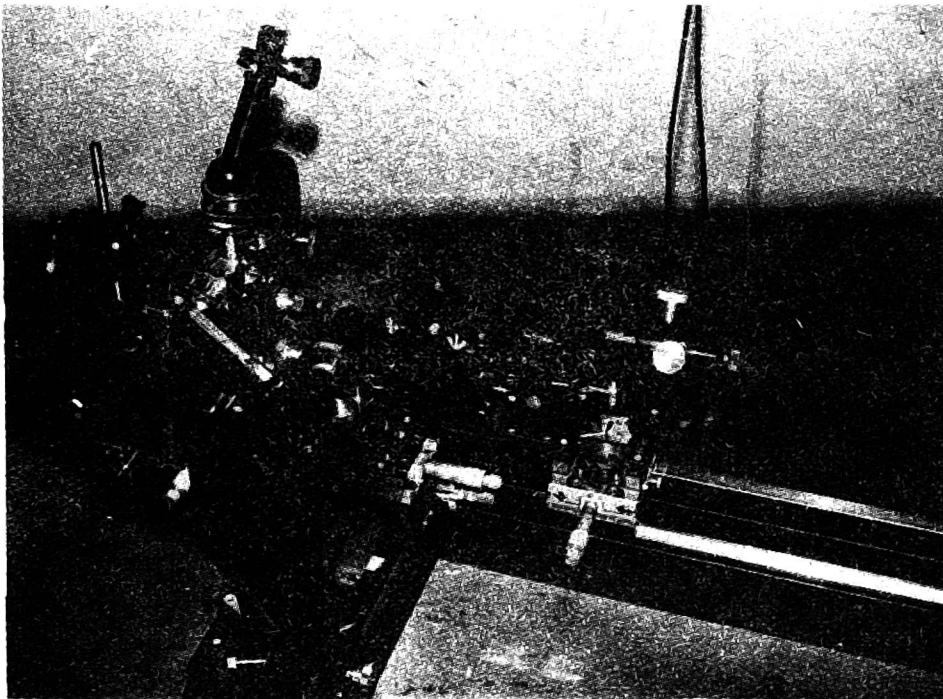
W układzie obciążającym /rys. 1/ próbka ziarna ściskana była jednoosiowo tłoczkiem przesuwającym się w ściśle dopasowanej tulejce. Wartość działającej siły ściskającej określono przez pomiar wielkości odkształcenia sprężyny płaskiej, jednym końcem swobodnie opartej o zakończenie tłoczka.



Rys. 1. Zdjęcie urządzenia obciążającego próbkę ziarna pszenicy

Drugi koniec sprężyny przytwierdzony był do stolika przesuwanego, zestawionego ze śrubą mikrometryczną. Obrót śruby mikrometrycznej powodował przesuw stolika, co z kolei wywoływało odkształcenie sprężyny. Wielkość odkształcenia sprężyny mierzono przy użyciu tensometrów elektrooporowych, naklejonych na tej sprężynie. Po wycechowaniu urządzenia obciążającego wartość działającej siły ściskającej próbkę ziarna odczytywano na elektronowym czytniku cyfrowym. Zastosowany do badań układ obciążający pozwalał na pomiar wartości działającej siły w zakresie od 0 do 100 N z dokładnością do 0,1 N.

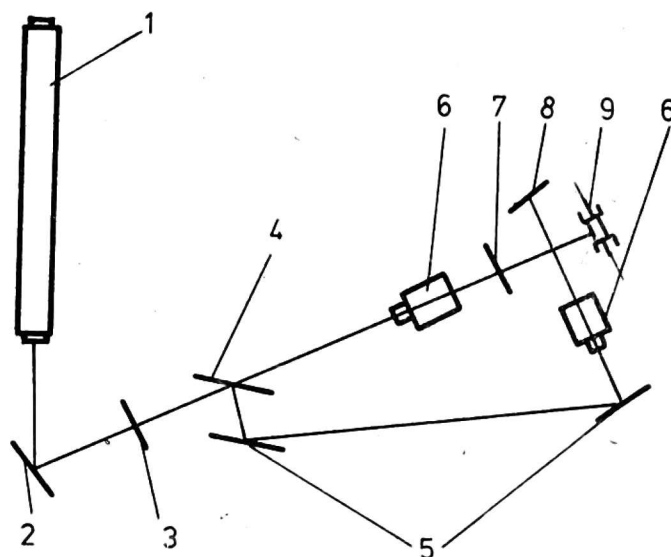
Pomiaru wielkości odkształceń badanej próbki ziarna dokonywano za pomocą odpowiednio do tego celu zestawionego mikroskopu pomiarowego /rys. 2/. Dla zwiększenia dokładności odczytu zastosowano okular mikrometryczny. Po wycechowaniu tego zestawu mikroskopowego możliwy był pomiar wielkości najniższych odkształceń rzędu 0,38  $\mu\text{m}$ .



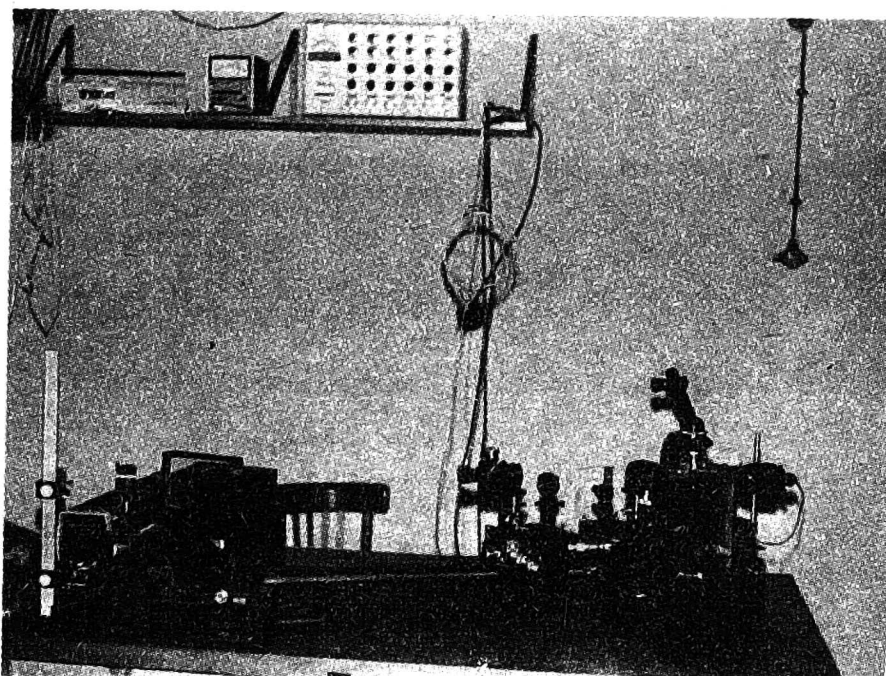
Rys. 2. Zdjęcie układu pomiarowego wielkości odkształceń próbki ziarna

Pole powierzchni przekrojów poprzecznych badanych próbek ziarna mierzono za pomocą planimetru, wykorzystując 20-krotnie powiększone zdjęcia tych przekrojów. Zdjęcia te wykonywano za pomocą aparatu fotograficznego, zestawionego z obiektywem mikroskopowym. Długość początkową próbki ziarna mierzono za pomocą mikroskopu warsztatowego z dokładnością  $10^{-5}$  m.

W celu wykonania interferogramów odkształconych podczas badania próbek ziarna zastosowano specjalnie opracowany interferometr holograficzny. Schemat tego interferometru przedstawiono na rysunku 3. Interferometr ten zbudowano z modułowych elementów produkowanego przez PZO zestawu holograficznego, wzbogaconego w dodatkowe elementy do płynnej optymalizacji stosunku natężeń interferujących fal. Interferometr holograficzny wraz z umieszczonym w nim układem pomiarowym stanowił całość stanowiska badawczego /rys. 4/.



Rys. 3. Schemat interferometru holograficznego do badania deformacji próbki ziarna: 1 - laser He-Ne /LG-600/, 2 - kierowacz wiązki, 3 - półfalówka, 4 - zwierciadło 50%, 5 - zwierciadło 100%, 6 - filtry przestrzenne, 7 - obiektyw, 8 - płyta holograficzna, 9 - układ pomiarowy wraz z umieszczoną w nim badaną próbką ziarna



Rys. 4. Ogólny widok stanowiska badawczego

### WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przeprowadzone w pracy badania wykonano na 10 próbkach ziarna pszenicy Grana o wilgotności 11%. Ziarno użyte do badań pochodziło ze zbioru z 1978 r. Pomiarów wykonywano w pomieszczeniu, w którym temperatura wynosiła  $20^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , a wilgotność powietrza utrzymywała się na poziomie 50%.

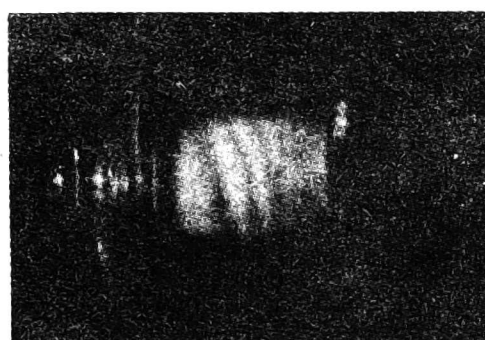
W wyniku przeprowadzonych pomiarów określono następujące cechy mechaniczne ziarna:

- zjawisko pełzania ziarna pszenicy przy jego jednoosiowym ściskaniu,
- zakres odkształceń sprężystych badanego ziarna,
- moduł sprężystości podłużnej ziarna przy określonych wartościach sił ściskających w zakresie odkształceń sprężystych.

Podczas przeprowadzania pomiarów wykonywano interferogramy odkształcanej próbki ziarna, stosując metodę podwójnej ekspozycji. Z układu prążków, układających się na interferogramie nawzajem równolegle i poprzecznie do kierunku przykładanego obciążenia, stwierdzono jednoosiowość naprężenia wytwarzanego w próbce ziarna podczas przeprowadzania badań.



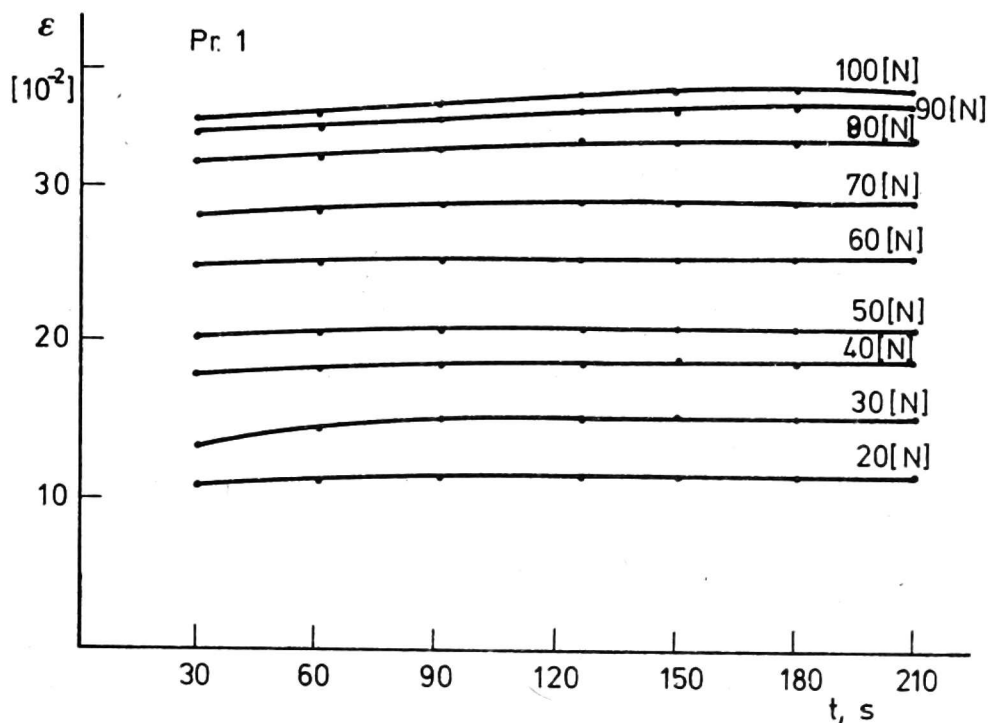
Rys. 5. Zdjęcie interferogramu próbki ziarna odkształcanej pod wpływem obciążenia  $\Delta P = 0,5N$



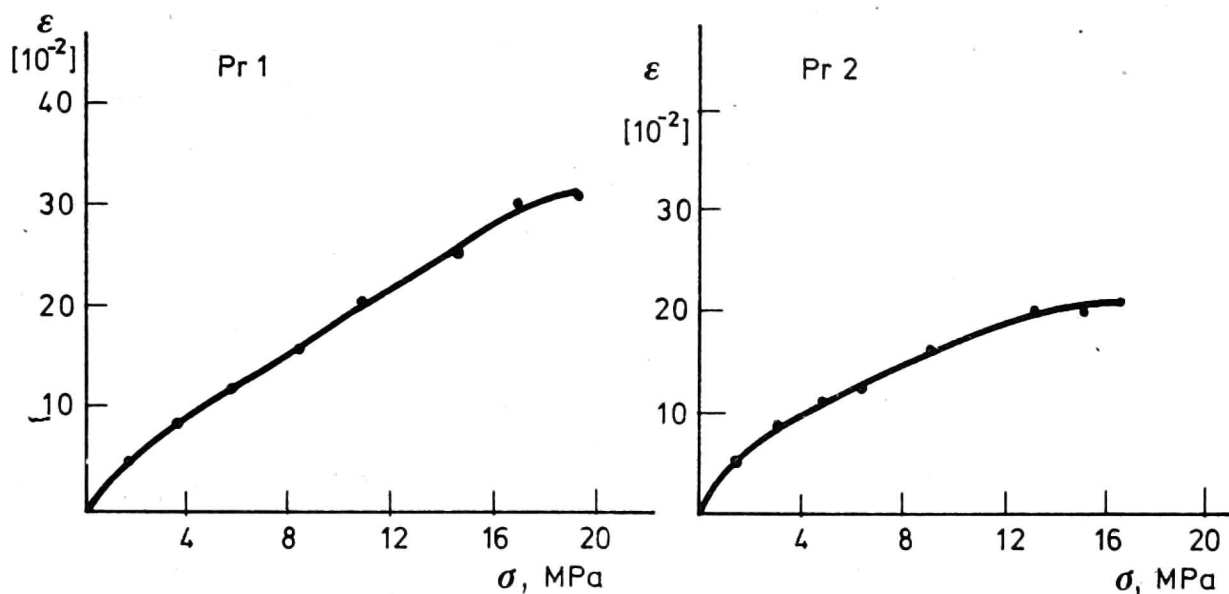
Rys. 6. Zdjęcie interferogramu próbki ziarna odkształcanej pod wpływem obciążenia  $\Delta P = 1N$

Interferogram przedstawiony na rysunku 5 uzyskano, obciążając próbkę siłą  $\Delta P = 0,5N$ , a interferogram na rysunku 6 obrazuje odkształcenie powierzchniowe próbki ziarna przy obciążeniu siłą  $\Delta P = 1N$ . Zjawisko pełzania przebadano, obciążając próbki siłami ściskającymi odpowiednio równymi co do wartości: 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 i 100N. Wzrost wielkości odkształcenia próbki ziarna pszenicy mierzono odpowiednio po czasie: 30, 90, 120, 150, 180, i 210 s od chwili przyłożenia określonego obciążenia. Wyniki tych pomiarów dla wybranej próbki obrazuje rodzina krzywych przedstawiona na rysunku 7. Z analizy krzywych pełzania badanych próbek wynika, że wzrost odkształcenia próbek ziarna pszenicy praktycznie ustaje po 3 minutach od chwili przyłożenia obciążenia.

Warunek ten spełniono przy dalszych pomiarach, mających na celu zbadanie zależności  $\varepsilon = f/\sigma$ , a co za tym idzie - określenie zakresu odkształceń sprężystych. Odczytu odkształcenia dokonywano w każdym przypadku po 3 min od chwili przyłożenia obciążenia próbki. Wyniki badań zależności  $\varepsilon = f/\sigma$  dla wybranych przebadanych próbek przedstawia rysunek 8. Z wykresów zależności  $\varepsilon = f/\sigma$  wszystkich przebadanych próbek wynika, że zakres odkształceń sprężystych mieści się w granicach działających sił ściskających od 20 do 80 N'.



Rys. 7. Rodzina krzywych pełzania dla próbki nr 1



Rys. 8. Wykresy zależności  $\epsilon = f/\sigma/$  dla próbki nr 1 i nr 2

Przy badaniach mających na celu wyznaczenie modułu sprężystości podłużnej warunek ten spełniono, przeprowadzając pomiary odkształceń w zakresie sił ściskających próbkę ziarna od 20 do 80 N. Obciążenie  $\Delta P/$  zwiększano skokowo co 10 N, począwszy od obciążenia wstępnego, równego co do wartości 20 N. Wielkość odkształcenia  $\Delta l/$  próbki ziarna mierzo- no również od stanu odkształcenia wywołanego obciążeniem wstępnym. Wartość modułu sprężys- tości ziarna /tab. 1/ obliczano stosując wzór /1/.

Tabela 1

Moduł sprężystości podłużnej badanego ziarna

Nr	Lp.	$\Delta P$ [N]	F [ $10^{-6} \text{ m}^2$ ]	$l_0$ $10^{-3} \text{ m}$	$\Delta l$ $10^{-6} \text{ m}$	$\Delta \sigma$ [MPa]	$\Delta E$ $10^{-3}$	$E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta E}$ [MPa]	$E_{\text{śr}}$ [MPa]	$\frac{E}{E_{\text{śr}}} \cdot 100\%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	10			9,88	1,86	3,66	508		3,2
	2	20			19,00	3,72	7,04	528		0,6
	3	30	5,37	2,70	28,00	5,59	10,37	539	525	2,6
	4	40			38,00	7,45	14,07	529		0,6
	5	50			47,88	9,31	17,73	525		0,0
	6	60			57,76	11,17	21,39	522		-
2	1	10			9,12	1,37	3,07	446		7,4
	2	20			15,92	2,73	5,36	509		5,6
	3	30	7,32	2,97	25,84	4,10	8,70	471	482	2,3
	4	40			34,20	5,46	11,51	474		1,6
	5	50			41,04	6,83	13,82	494		2,5
	6	60			48,64	8,19	16,38	500		3,7
3	1	10			7,6	2,03	2,76	735		6,6
	2	20			14,44	4,08	5,25	777		1,3
	3	30	4,92	2,75	21,28	6,09	7,74	787	787	-
	4	40			28,12	8,13	10,23	795		1,0
	5	50			33,96	10,16	12,35	823		4,6
	6	60			41,80	12,19	15,20	802		1,9
4	1	10			9,88	1,76	4,35	405		3,8
	2	20			19,00	3,53	8,37	422		0,2
	3	30	5,67	2,27	33,12	5,39	14,59	369		12,3
	4	40			37,24	7,05	16,41	429		1,9
	5	50			45,6	8,82	19,82	455	421	8,0
	6	60			53,2	10,56	23,44	450		6,9
5	1	10			7,60	1,87	3,13	597		4,5
	2	20			15,20	3,74	6,26	597		4,5
	3	30	5,34	2,43	22,04	5,62	9,07	619	625	0,9
	4	40			28,88	7,49	11,88	630		0,8
	5	50			34,96	9,36	14,39	652		4,3
	6	60			41,04	11,24	16,89	665		6,4
6	1	10			6,84	1,64	1,89	868		4,6
	2	20			14,47	3,29	3,99	759		8,6
	3	30	6,08	3,62	22,04	4,93	6,09	809	830	2,5
	4	40			28,88	6,58	7,98	825		0,6
	5	50			34,96	8,22	9,66	851		2,5
	6	60			41,04	9,86	11,34	869		4,7



cd. tabeli 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	1	10			10,12	1,41	3,42	412		15,0
	2	20			17,48	2,82	5,91	447		7,8
	3	30	7,05	2,96	25,84	4,26	8,73	488	485	0,6
	4	40			33,44	5,67	11,29	502		3,5
	5	50			40,28	7,09	13,61	521		7,4
	6	60			46,36	8,51	15,66	543		11,9
8	1	10			9,12	2,24	3,0	747		10,9
	2	20			16,72	4,48	5,5	815		2,9
	3	30	4,46	3,04	24,32	6,72	8,0	840	839	0,1
	4	40			31,92	8,97	10,5	854		1,8
	5	50			38,76	11,21	12,75	879		4,8
	6	60			45,6	13,45	15,0	897		6,9
9	1	10			7,60	1,64	3,15	521		7,3
	2	20			14,44	3,28	5,99	548		2,5
	3	30	6,10	2,41	21,28	4,92	8,83	557	562	0,9
	4	40			27,36	6,56	11,35	578		2,8
	5	50			34,20	8,19	14,19	577		2,7
	6	60			40,28	9,84	16,71	589		4,8
10	1	10			6,08	2,09	2,44	857		11,9
	2	20			11,40	4,18	4,58	912		6,3
	3	30	4,77	2,49	15,96	6,28	6,41	979	973	0,6
	4	40			20,52	8,39	8,24	1018		4,6
	5	50			25,08	10,48	10,07	1041		6,9
	6	60			30,40	12,58	12,21	1030		5,9

Wyznaczone wartości modułów sprężystości podłużnej ziarna pszenicy Grana o wilgotności 11% mieszczą się w granicach 420 MPa - 975 MPa. Obliczona wartość średnia modułu dla przebadanych próbek ziarna wyniosła 650 MPa.

### WNIOSKI

Interferometria holograficzna wykorzystywana dotychczas tylko w stosunkowo niewielkim zakresie do badania elementów konstrukcji okazała się, jak wykazały badania przeprowadzone w pracy, bardzo przydatna do określania cech mechanicznych ziarna zbóż. Badania przedstawione w pracy wykazały, jak duży wpływ na dokładność wyników stałych sprężystych ziarna ma sposób przygotowania próbek ziarna i metoda ich badania. Odnosi się to do badań przeprowadzonych na ziarnach wklejonych w uchwyty, za pośrednictwem których próbkę ziarna rozciągano lub ściskano [8]. Z otrzymanych interferogramów odkształconego ziarna pszenicy wynika, że w obszarze wklejenia zostanie wzmocniona jego konstrukcja. Ziarno w tym obszarze ulega znacznie mniejszym odkształceniom. Widoczne to jest na interferogramach jako miejsce o znacznie mniejszej koncentracji prążków.

Porównawcze obserwacje przekrojów poszczególnych próbek tłumaczą rozbieżność wartości ich modułów sprężystości podłużnej. Ziarno o strukturze mączystej miało prawie dwukrotnie mniejszy moduł sprężystości podłużnej niż ziarno o strukturze szklistej.

Możliwość badania odkształceń powierzchniowych ziarna pszenicy przy zastosowaniu interferometrii holograficznej pozwala na stwierdzenie, że może być ta metoda bardzo przydatna do badania zjawiska powstawania mikrouszkodzeń pod wpływem bodźców mechanicznych.

#### LITERATURA

1. Haman J., Koper R.: Próby wykorzystania metody interferometrii holograficznej do wyznaczenia modułu sprężystości podłużnej ziarna pszenicy /maszynopis pracy przyjętej do druku w Rocz. Nauk Rol. w 1978 r./.
2. Katalog: Ważniejsze właściwości roślin wiążących się z pracą maszyn rolniczych. Komitet Hodowli i Uprawy Roślin, PWN, 1975.
3. Koper R., Pawluczyk R.: Próby wykorzystania interferometrii holograficznej do badania deformacji ziarna pszenicy. Rocz. Nauk Rol., t. 73-C-Z. 1978
4. Mohsenin N.N.: Application of engineering techniques to evolution of texture of sild food materials. Journal of Texture Studies. 1970, 1.
5. Orzechowski J.: Mikrouszkodzenia ziarna i ich skutki. Mech. Rol. 1964, nr 13.
6. Shelef L., Mohsenin N.N.: Evaluation of the moduls of Wheat grain. Cereal Chemistry 1967, vol. 44/4.
7. Szpolańska A.Ł.: Ispitannia mechaniczeskich swoistw ziarna pri stoticzewskich i udarnych nagruzkach. MMTNN II, 1947.
8. Staszczak Z.: Właściwości reologiczne ziarna pszenicy. Maszynopis pracy doktorskiej. Bibilioteka AR Lublin, 1978.
9. Zorab G.: Instrumentation and Measurement Techniques for Determining Properties of Farm Products. Trans. ASAE, 1967.

Р. Копер

#### ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНА

#### ПШЕНИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

#### Р е з ю м е

При высоко механизированной уборке хлебных злаков повреждается около 10% зерна. Для сокращения соответствующих потерь необходимым знакомство механических свойств зерна хлебов. Применяемые до сих пор методы определения например модуля упругости характеризуются широким разбросом результатов, что затрудняет оптимизацию технологических проце-

ссов. Голографическая интерферометрия используемая до сих пор в сравнительно небольшой степени для исследования элементов конструкции оказалась, как показали рассматриваемые в статье исследования, очень пригодна для определения механических свойств зерна хлебных злаков. Представленные в статье результаты исследования показали, какое сильное влияние на точность результатов констант упругости зерна оказывает способ подготовки образцов зерна и метод их исследования. Это относится к исследованиям проведенным на зернах вклеенных в держатели, посредством которых образец зерна растягивали или сжимали. Сравнительные наблюдения разрезов отдельных образцов разъяснили различия их модулей продольной упругости. Зерно с мучнистой структурой показывало почти двукратно меньший модуль продольной упругости, чем стекловидное зерно. Возможность исследования поверхностных отображений зерна пшеницы при использовании голографической интерферометрии позволяет заключить, что указанный метод может быть очень пригодным для исследования явления микроповреждений под влиянием механических стимулов.

R. Koper

## INVESTIGATIONS ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF WHEAT GRAIN WITH THE USE OF THE HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

### Summary

About 10% of grain are damaged at the highly mechanized harvest of cereals. To reduce the respective losses the knowledge of mechanical properties of grain is necessary. The hitherto methods for e.g. determination of the elasticity module, give a wide dispersion of results, what makes difficult the optimization of technological processes. The holographic interferometry used up to now to only a relatively small extent in investigations of the construction elements appeared to be, as the present work has proved, very useful for determination of mechanical properties of cereal grain. The investigations presented in the paper proved a very strong effect of the preparation way of grain samples and of their examination methods on the accuracy of results of elasticity constants of grain. It concerns the investigations carried out on grains inserted in holders, by means of which they were stretched or compressed. Comparative observations of sections of particular samples explained differences in values of their longitudinal elasticity modules. The grain of a mealy structure had almost twice less longitudinal elasticity module than the grain of a hyaline structure. The possibility of investigation of superficial deformation of the wheat grains at application of the holographic interferometry allows to state that this method can be very useful for investigation of the phenomena of microdamages under the effect of mechanical stimuli.