

## WYKORZYSTANIE TECHNIKI ZDJĘĆ SZYBKICH DO OKREŚLANIA WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH JABŁEK

*Borys Bieluga*

Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR w Lublinie

### WSTĘP

Wzrastająca mechanizacja procesów produkcyjnych ma w wielu przypadkach ujemny wpływ na produkty rolnicze. Szczególnie szkodliwe działanie maszyn uwidacznia się w przypadku obróbki mechanicznej produktów, posiadających w swym składzie dużo wody, a więc między innymi owoców. Konieczne staje się zatem uzupełnienie kryteriów oceny wartości odmian nowymi cechami, dotyczącymi odporności danej odmiany na uszkodzenia.

Rozpatrując biologiczne skutki mechanizacji w aspekcie maszyna—roślina daje się zauważyć, że we wszystkich badaniach i pracach dąży się z jednej strony do projektowania maszyny w sposób uwzględniający w maksymalnym stopniu wymagania agrotechniczne, z drugiej natomiast — dąży się do takiego modyfikowania samych roślin, aby umożliwić racjonalne stosowanie maszyn. Dlatego też w miarę postępu nauk biologicznych i technicznych te dwa główne kierunki wymagają coraz to ściślejszej koordynacji i współdziałania.

### GLÓWNE KIERUNKI BADAŃ WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH JABŁEK

Różnice w sposobach powstawania uszkodzeń w procesach zbioru sortowania i transportu stwarzają konieczność wielokierunkowych badań własności mechanicznych jabłek. Badania procesów *quasi*-statycznych będą tutaj miały mniejsze znaczenie, z uwagi na inny charakter procesów roboczych. Trzeba jednak nadmienić, że badania takich zjawisk, jak pełzanie czy relaksacja, może być również pomocne przy zrozumieniu i wyjaśnieniu procesów dynamicznych. Próby pełzania dostarczają informacji o charakterystyce lepkosprężystej materiałów. Do przedstawienia zjawiska pełzania w materiałach lepkosprężystych stosowany jest czterocząłkowy model Burgersa.

W celu uwzględnienia relaksacji naprężeń stosuje się często wieloelementowy uogólniony model Kalvina-Voigta. W przypadku płodów rolnych są one wykorzystywane dla określania ich deformacji podczas składowania (dotyczy to przede wszystkim owoców, jarzyn, kiszonki, ziarna, ziemniaków itp.). Mohsenin [7, 10] badał proces pełzania jabłek odmiany McIntosh. Odnośnie zjawiska relaksacji naprężeń Somers stwierdza, że w układzie niejednorodnym, takim jak ścianka komórki roślinnej, relaksacja naprężeń może wynikać z wielu przyczyn, np. poślizgu mikrowłókien błonnika, molekularnych przemieszczeń różnych składników polimerycznych komórki, w szczególności błonnika lub różnych kombinacji tego rodzaju przyczyn. Stwierdza również, że elastyczna część ścianki komórki nie wykazuje relaksacji.

W celu określenia maksymalnych dopuszczalnych obciążeń statycznych i dynamicznych, jakie mogą wytrzymać jabłka przy transporcie i magazynowaniu, Mohsenin i współpracownicy [6, 8, 9, 12] wprowadzili pojęcie granicy plastyczności materiałów biologicznych. Granicą plastyczności materiału biologicznego nazwano pierwsze załamanie na krzywej  $F = f(\epsilon)$ . Załamanie to wskazuje początkowo pęknięcie w strukturze komórki owocu, inicjujące brązowienie i odbarwienie. W tym punkcie materiał ograniczony zaczyna płynąć. Brązowienie tkanek w takich owocach, jak: jabłka, gruszki, brzoskwinie, morele, winogrona i banany jest wynikiem utlenienia treści komórkowej przez enzymy. Uważa się, że rozerwanie komórek rośliny powoduje zetknięcie się treści komórkowej z powietrzem międzykomórkowym, co powoduje enzymatyczne utlenienie i odbarwienie tkanek [5]. Obciążenie kontynuowane poza granicę plastyczności prowadzi do przebicia skórki, po którym następuje nagły spadek siły  $F$ . Ten moment (gdy siła  $F$  osiąga maximum) nazwano punktem przebicia. Wskaźnikiem sztywności nazwano pochylenie pierwszego odcinka krzywej  $F = f(\epsilon)$ . Powierzchnia pod krzywą, aż do granicy bioplastyczności, przedstawia energię odkształcenia potrzebną na wywołanie płynięcia lub początkowego pęknięcia komórkowego. Powierzchnia pod krzywą aż do punktu przebicia jest wskaźnikiem ciągliwości i charakteryzuje odporność na uszkodzenie mechaniczne.

W badaniach swoich Mohsenin, Cooper i Hammerle [9] wykazali, że szereg własności biochemicznych i fizykomechanicznych dla sześciu badanych odmian jabłek wykazuje dużą korelację z przebiegiem dojrzewania owoców. Tymi cechami i wskaźnikami były, między innymi: zwięzłość, ciężar właściwy, kolor, wielkość owocu, siła odrywania owocu od gałęzi, procentowa zawartość cukru, granica plastyczności, energia odkształcenia bioplastycznego (praca na wywołanie płynięcia), moduł sprężystości mięszu, wskaźnik ciągliwości, wielkość odkształcenia w punkcie przebicia itd.

Dojrzewanie owoców jest ściśle związane ze zmianami pektyny w tkance komórkowej, działającej jako czynnik wiążący. W trakcie dojrzewania zachodzą zmiany rozluźniające więzi komórkowe. Zgodnie z tym zjawiskiem Schmidt [14] badał naprężenie ścinające mięszu jabłek i gruszek w celu określenia stopnia dojrzałości owoców. Znając siłę ścinania  $F$ , obwód cylindrycznej matrycy  $d$  i grubość plastra mięszu  $g$ , naprężenie tnące  $\tau$  określono z wzoru:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot g}$$

W badaniach jabłek eliminowano działanie skórki owocu, gdyż w ten sposób uzyskiwano większą korelację między stopniem dojrzałości a naprężeniem tnącym.

Mohsenin i Göehlich [11] odwrócili nieco zagadnienie — badali samą skórkę jabłek na wytrzymałość na ścinanie. Takie ujęcie zagadnienia wynikało stąd, że wytrzymałość skórki na naprężenie tnące wiąże się z odpornością owoców na uszkodzenia mechaniczne. Naprężenia ścinające były liczone podobnie jak w badaniach Schmidta, z tym że wielkość  $g$  oznaczała grubość skórki. Wyniki wskazały na pewne niebezpieczeństwo w przyjmowaniu określonych w ten sposób krytycznych naprężeń ścinających jako miernika odporności na uszkodzenie mechaniczne. Pominięto tu bowiem wpływ mięszu, którego własności fizykomechaniczne w wielu przypadkach nie korelują z własnościami fizykomechanicznymi skórki.

Badania odporności na uszkodzenia mechaniczne wiążą się dosyć ściśle z określeniem tzw. zwięzłości lub jędrności owoców. Urządzenia do pomiarów zwięzłości (jędrności) były pierwszymi urządzeniami do badania własności fizykomechanicznych owoców. Już w 1925 r. Magness i Taylor [4] opisują budowę jędrnościomierza swojej konstrukcji. Wadą tego przyrządu jest to, że pomiar zależy od umiejętności obsługi. W 1941 r. Haller [3] opisuje inne rodzaje przyrządów do badania jędrności owoców i analizuje zależność jędrności od takich czynników, jak: dojrzałość, temperatura, zawartość wody, kolor itd. Dalsze ulepszenie jędrnościomierza wprowadzili Pflug, Hoffe i Nicholas [13]. Zastosowali oni prasę mechaniczną i automatyczne rejestrowanie, przez co wyeliminowali czynnik subiektywny przy pomiarze i odczycie.

Stosowanie w urządzeniach do prób wytrzymałościowych cylindrycznych tłoczków posiada jeden niekorzystny aspekt. Uzyskane z pomiaru wartości modułów sprężystości są zależne od wyboru średnicy tłoczka. Wskazują na to doświadczenia Mohsenina [10], Finney'a [1] oraz Finney'a, Halla i Thompsona [2]. Analizą tego zagadnienia zajmowali się również Timbers, Staley i Watson [15].

## CEL BADAŃ

Przeprowadzone dotychczas badania wrażliwości produktów rolniczych na uszkodzenia mechaniczne opierają się głównie na metodach mechanicznych, elektrycznych i elektronicznych. Procesy zachodzące przy określaniu własności fizykomechanicznych rejestrowane są na różnego rodzaju miernikach lub zapisywane na odpowiednio skalowanych taśmach. Stwierdza się jednocześnie brak danych o fizykomechanicznych właściwościach surowców rolniczych z całego przebiegu pomiarów. Zastosowanie w badaniach wyżej wspomnianych metod stanowić może okazję do poznania nowych cech mechanicznych płodów rolnych.

Biorąc pod uwagę powyższe, celem badań było:

— określenie sił zrywających miąższ (wybranych odmian) za pomocą uniwersalnego przyrządu do dynamicznego i statycznego badania materiałów „Instron-1253”, z zastosowaniem techniki zdjęć szybkich za pomocą kamery „Hyspeed”.

## METODYKA BADAŃ

Pomiary przeprowadzono na uniwersalnym przyrządzie do dynamicznego i statycznego badania materiałów „Instron 1253”. Zadaniem urządzenia był pomiar sił zrywających (określenie sił spójności międzykomórkowych) próbek badanych odmian jabłek. W skład przyrządu „Instron 1253” wchodziły:

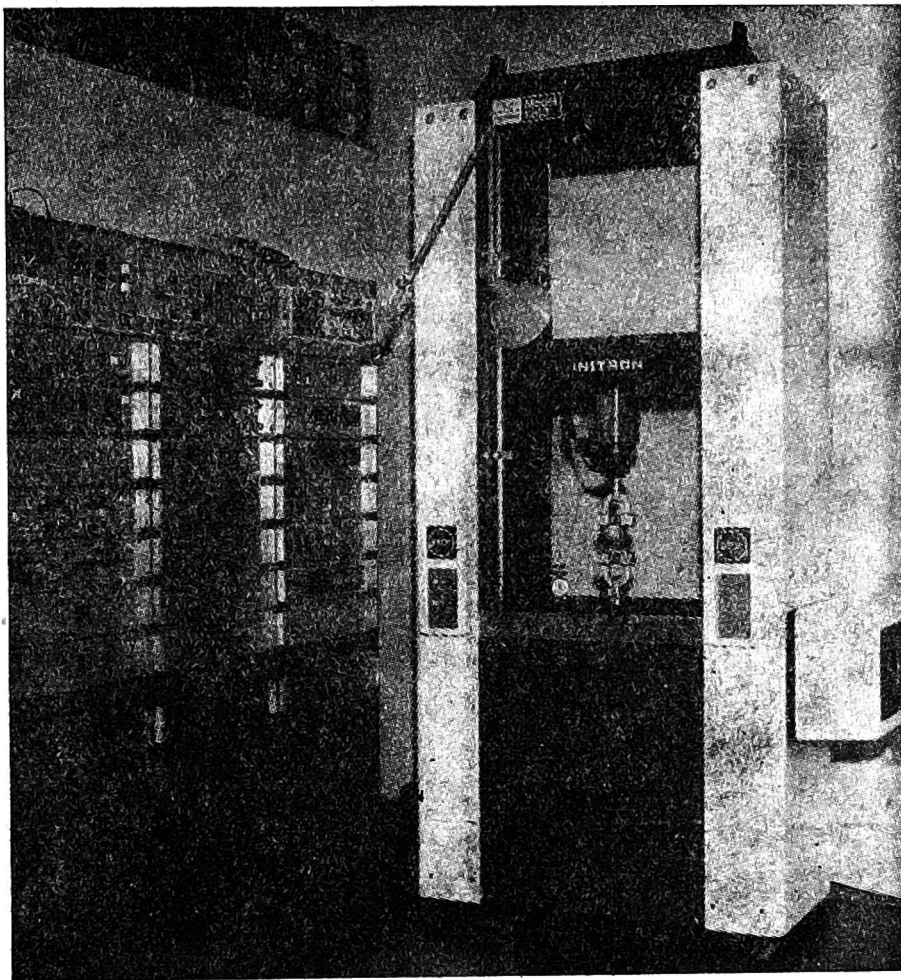
- a) urządzenie obciążające (rys. 1),
- b) urządzenie sterownicze,
- c) hydrauliczny zespół silnikowy.

W urządzeniu obciążającym wyodrębnić można belki poprzeczne, przenoszące obciążenie z różną siłą i prędkością. Schemat statycznego działania przyrządu ilustruje rysunek 2.

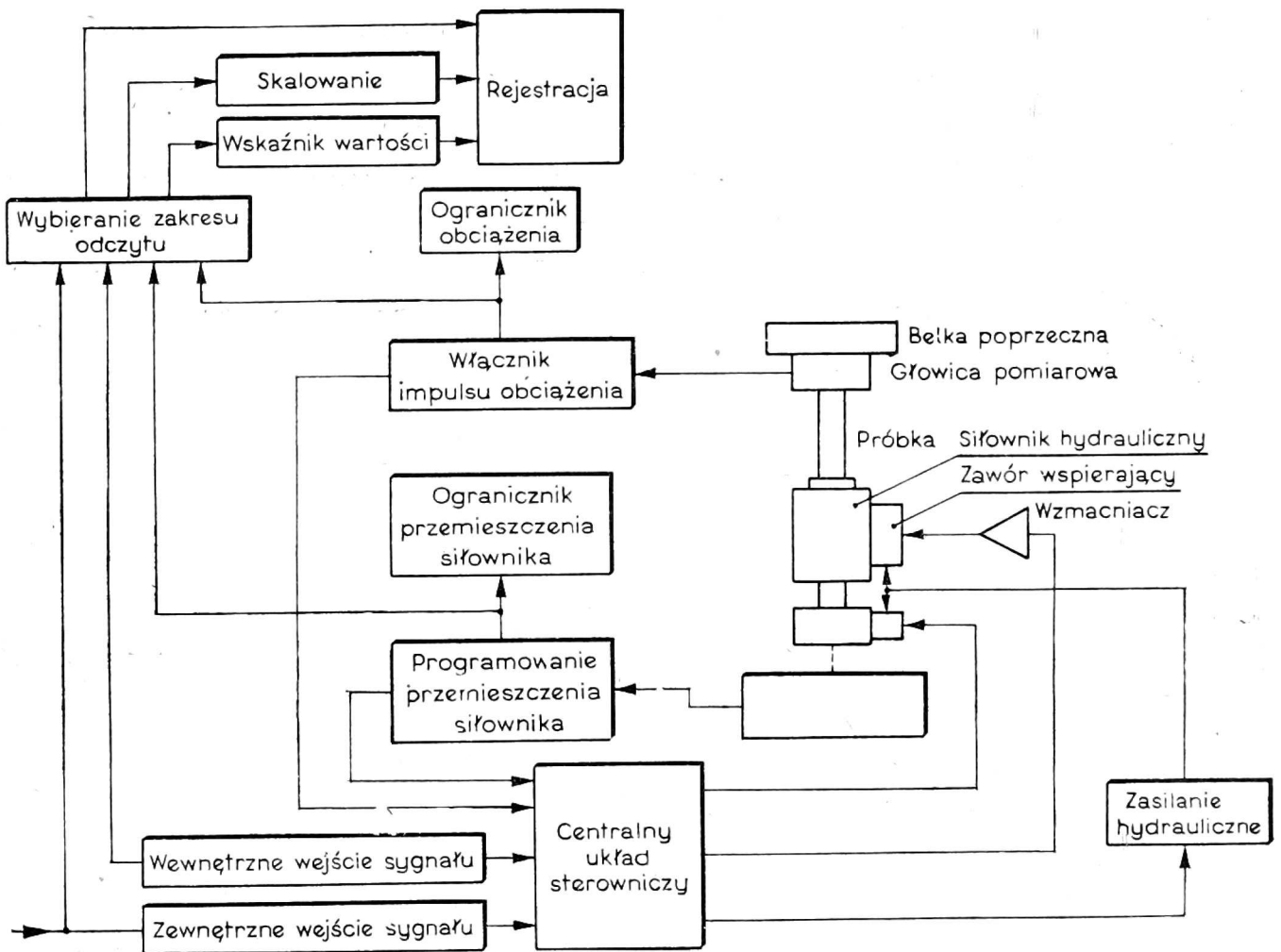
## PRZEBIEG POMIARÓW STATYCZNYCH (ROZRYWAJĄCYCH)

Do pomiarów statycznych na określenie sił rozrywających przygotowano próbki o przekroju  $15 \text{ mm}^2$  ( $5 \times 3 \text{ mm}$ ). Usytuowano je w dwóch uchwytach (rys. 3), przy czym jeden z nich mocowano do głowicy (czujnik pomiaru obciążenia), drugi natomiast do siłownika hydraulicznego. Następnie sterowano prędkość ruchu belki wraz z głowicą ze stałą prędkością  $10 \text{ mm/min}$ . Równolegle zarejestrowano na wskaźniku cyfrowym i taśmie rejestrującej proces rozrywu próbki oraz wartość siły powodującej przerwanie badanej próbki.

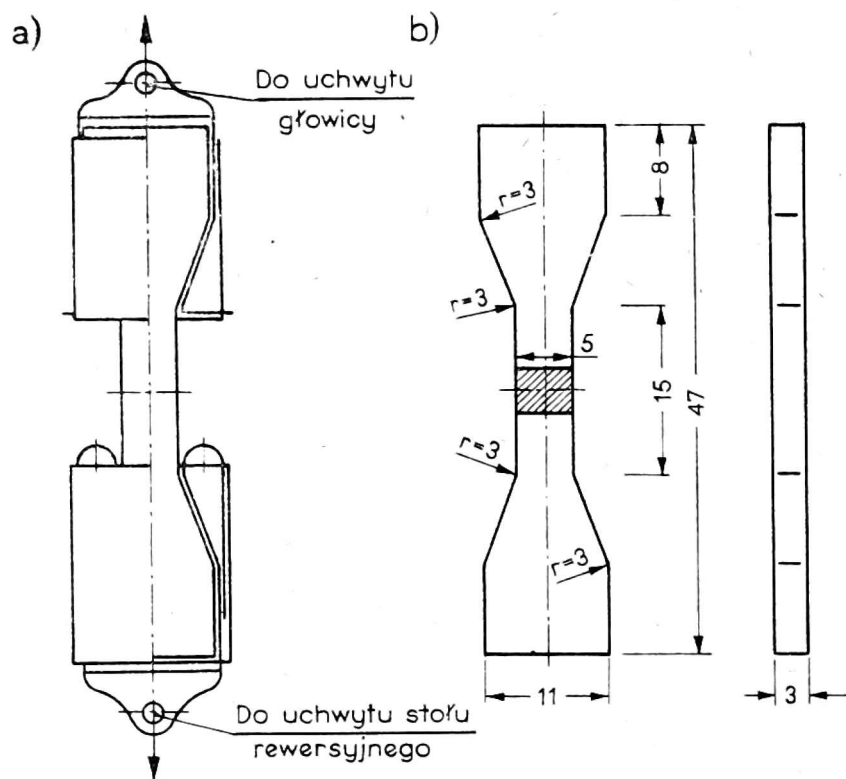




Rys. 1. Uniwersalny przyrząd „Instron 1253”



Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia „Instron 1253”



Rys. 3. Schemat wykonania i zamocowania próbki do pomiaru siły rozrywającej

#### OBIEKT BADAŃ

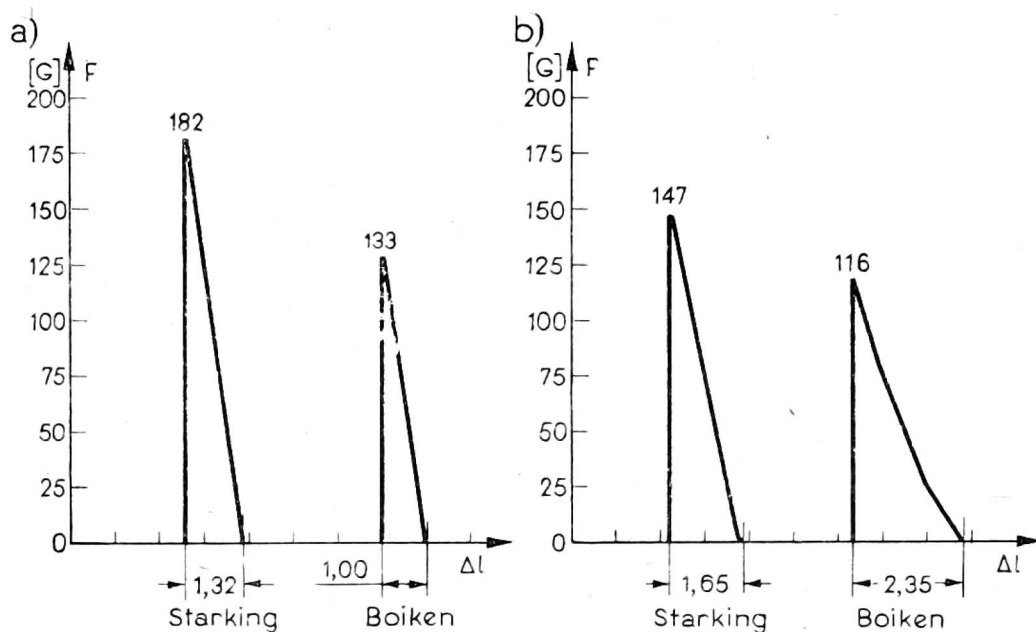
Obiektem badań były jabłka dwóch odmian późnozimowych — Boiken i Starking. Jabłka przeznaczone do badań zbierano ręcznie. Jakość jabłek mogła mieć istotny wpływ na wielkość uszkodzeń, dlatego też zostały wybrane owoce o zbliżonej dla danej odmiany średnicy, urwane z podobnej wysokości ze strony południowo-wschodniej. Zwracano też uwagę, aby powierzchnie owoców nie były zaatakowane przez choroby i szkodniki. Pomiaru sił zrywających miąższ przeprowadzono w dziesięciu powtórzeniach.

#### WYNIKI BADAŃ

Badania pomiarów rozrywających miąższ jabłek przeprowadzono w dwóch terminach: dojrzałości zbiorczej oraz po trzydziestu dniach składowania. Charakterystycznymi wielkościami były: siła rozerwania miąższu, odkształcenie próbki i kąt nachylenia wykresu (rys. 4), gdzie:

- a* — pierwszy termin badań,
- b* — drugi termin badań,
- F* — siła rozerwania próbki,
- $\Delta l$  — odkształcenie próbki.

Badania pozwalają stwierdzić, iż odporniejszymi na rozerwanie w dwóch terminach były próbki odmiany Starking (średnia dla 10 pomiarów 199,08 g w I terminie i 146,8 gram w II terminie badań). Próbki od-



Rys. 4. Wykresy z pomiarów sił rozrywających miąższ jabłek:  $C_{\Delta l} = 0,2$  mm/dz,  $V_b = 10,0$  mm/min,  $V_p = 100,0$  mm/min

miany Boiken zrywane były przy średniej sile 128,3 g w terminie I i 117,58 g w II terminie badań.

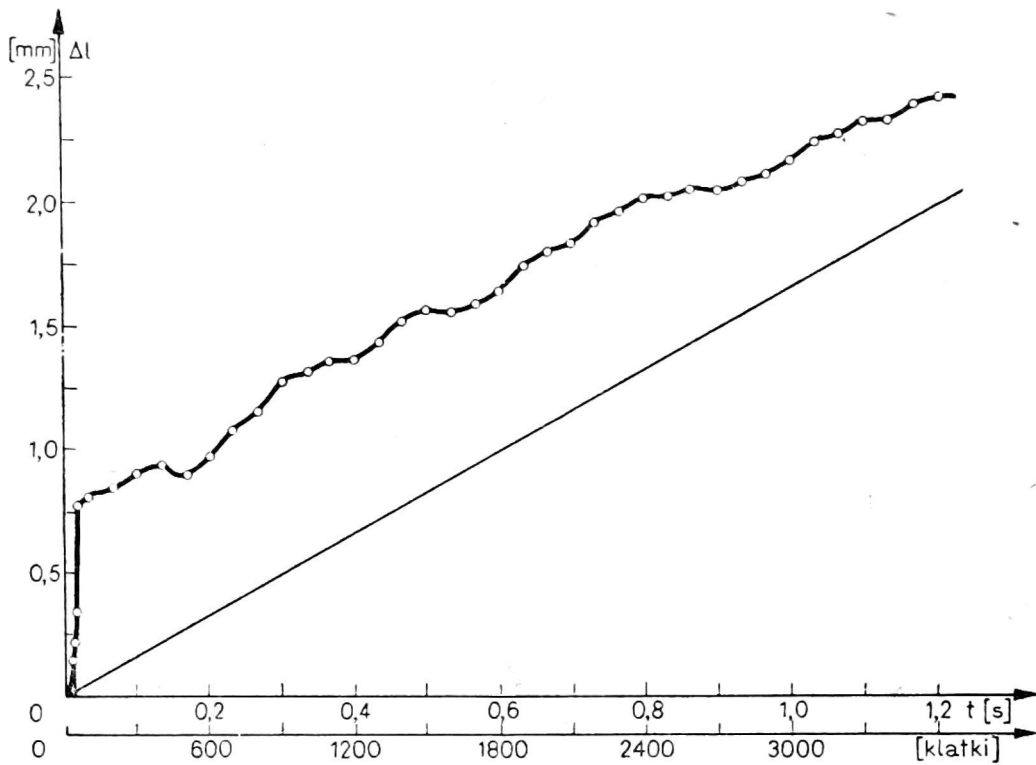
Przez odkształcenie próbki rozumieć należy zdolność jej rozciągania się (wydłużenia) do momentu zerwania. Cecha ta świadczyć może o elastyczności miąższu badanych odmian. U odmiany Starking zdolność do odkształcania malała (z 1,80 mm do 1,63 mm w II terminie badań). Świadczyć to może o zmniejszeniu więzi pomiędzy komórkami miąższu. Bardziej podatną na odkształcanie okazała się odmiana Boiken (1,37 mm w I terminie, 2,10 mm w II terminie). Wielkość kąta nachylenia wykresu świadczy o plastyczności badanych próbek.

Próbki odmiany Starking charakteryzowały się względnie małą plastycznością w obu terminach badań ( $79^{\circ}57'$  w I terminie badań i  $77^{\circ}06'$  — w II terminie badań). Wyraźnym spadkiem elastyczności charakteryzowały się próbki odmiany Boiken:  $78^{\circ}34'$  w I terminie badań i  $70^{\circ}13'$  w II terminie badań.

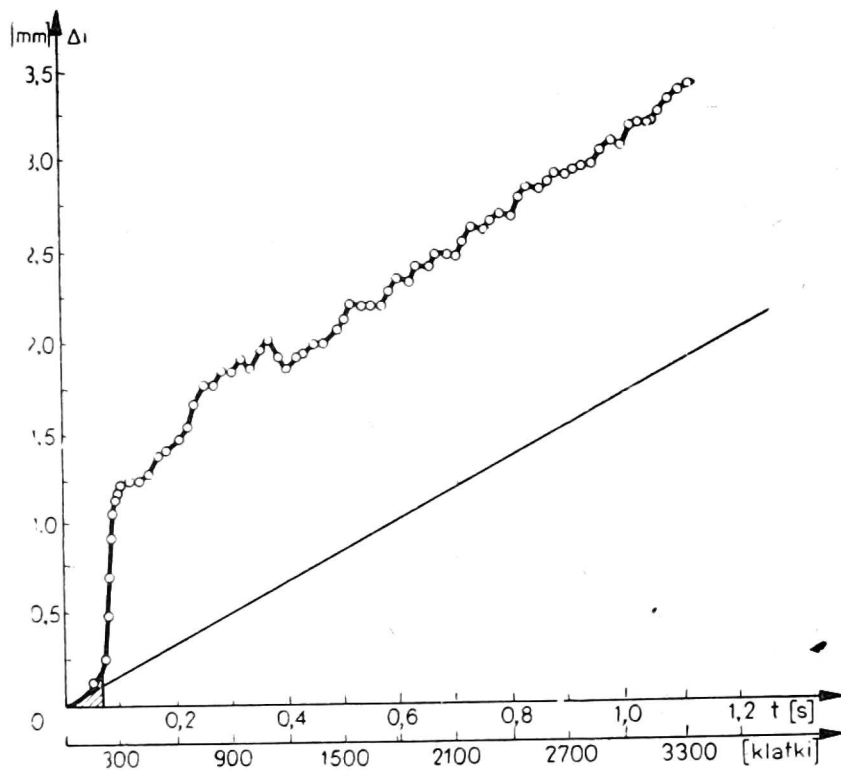
Zastosowanie kamery Hyspeed w rejestracji procesu rozrywania miąższu na uniwersalnym przyrządzie „Instron 1253” pozwoliło na określenie dodatkowej cechy, tj. sprężystości. Proces rozrywania próbek rejestrowany był z prędkością 3000 klatek w czasie 1 sekundy. Uzyskany film poddano analizie, w wyniku której sporządzono charakterystyczne wykresy (rys. 5 i 6).

Na rysunku 5 przedstawiono zależność  $F = l(t)$  — dla odmiany Starking, na rysunku 6 natomiast dla odmiany Boiken, gdzie:

- $l$  — odkształcenie próbki,
- $t$  — czas trwania procesu.



Rys. 5. Wykres zależności  $f = \Delta l(t)$  dla odmiany Starking



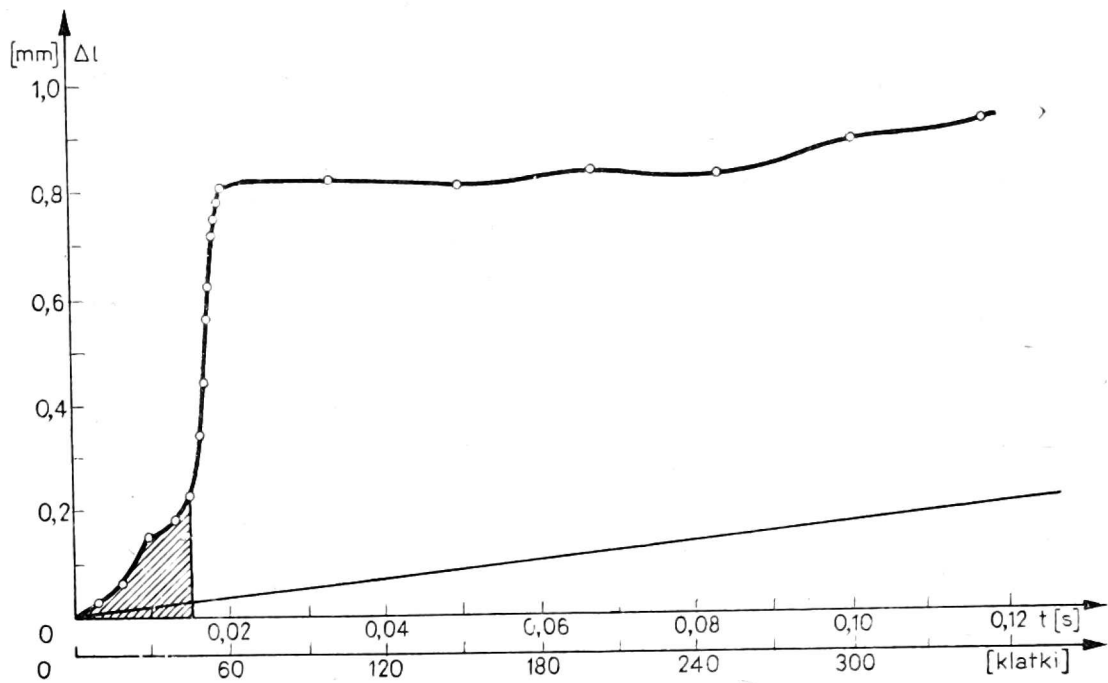
Rys. 6. Wykres zależności  $f = \Delta l(t)$  dla odmiany Boiken

Na wykresie wyodrębnić można trzy charakterystyczne fazy:

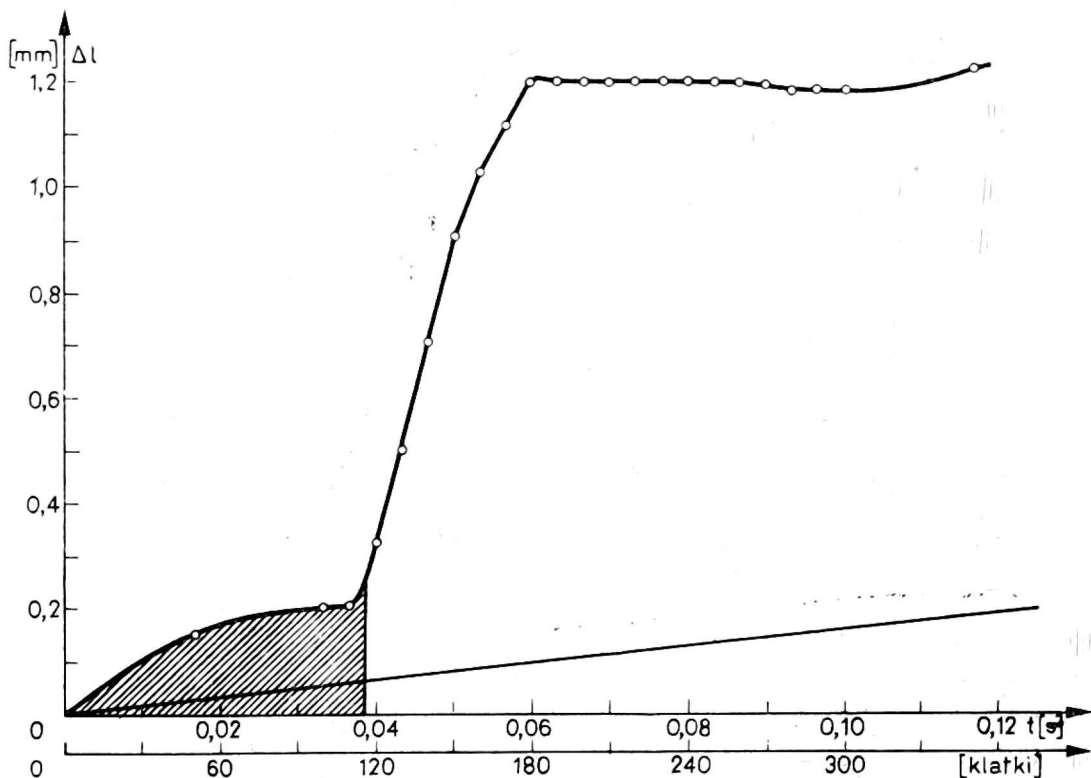
- I — faza rozciągania próbki,
- II — faza obrazująca sprężystości próbki,
- III — faza wygasających drgań próbki po jej rozerwaniu.

Na rysunkach 7 i 8 zilustrowano początkową fazę odkształcenia próbek kolejno dla odmiany Starking i Boiken. Z analizy wykresów wynika,





Rys. 7. Wykres początkowy fazy zależności  $f = \Delta l(t)$  dla odmiany Starking



Rys. 8. Wykres początkowy fazy zależności  $f = \Delta l(t)$  dla odmiany Boiken

że próbka odmiany Boiken (rys. 8) charakteryzuje się większą sprężystością niż próbka odmiany Starking (rys. 7). Próbkę odmiany Boiken po procesie rozciągania (I faza) ma większą zdolność powrotu do stanu wyjściowego. Świadczy o tym długość II fazy.

Na podstawie analizy filmu, wykonanego kamerą szybkich zdjęć, można stwierdzić, że pomiary sił rozrywających miąższ jabłek przyrzą-

dem „Instron 1253” dają nie tylko informację o zachodzących zmianach struktury tkanki badanych odmian, ale dają możliwość poznawania nowych cech mechanicznych plodów rolnych.

Jest to tym istotniejsze, że istniejące aktualnie tendencje budowy maszyn rolniczych o większej wydajności i trwałości przy coraz bardziej zmniejszającym się ciężarze jednostkowym wymagają znajomości zjawisk związanych z ich pracą. Problem ten jest szczególnie ważny w przypadku jabłek, gdzie na przyszłość rysuje się perspektywa ich zmechanizowanego zbioru.

#### LITERATURA

1. Finney E. E.: The Viscoelastic Behaviour of the Potato. *Solanum Tuberosum*, under quasistatic Loading. Ph. D. thesis, Michigan State University. 1963.
2. Finney E. E., C. W. Hall, N. R. Thompson: Influence of variety and time of harvest on the resistance of potatoes to mechanical damage. *Am. Pot. J.*, September 1963.
3. Haller M. M.: Fruit Pressure Testers and Their Practical Applications USDA Circular 627, 1941.
4. Magness F. R., G. F. Taylor.: An Improved Type of Pressure Tester For Determination of Fruit Maturity. USDA Circular 350, 1925.
5. Meyer L. H.: Food Chemistry. Reinhold Publishing Corp. New York 1960.
6. Mohsenin N.: A Testung Machine for Evaluation Mechanical and Rheological Properties of Agricultural Products. Bul. 701 Pensylvanie State University. College of Agr. 1963.
7. Mohsenin N. N.: Physical Properties of Plant and Animal Materials Gordon and Breach Science Publishers. New York, 1970.
8. Mohsenin N., C. T. Morrow, L. D. Tukey.: The „Yield — Point” Non Destructive Technique for Predicting Firmness of Golden Delicious Apples. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci* 86, s. 70, 1965.
9. Mohsenin N., M. E. Cooper, J. R. Hammerle, S. W. Fletcher, L. D. Tukey: „Readiness for Harvest” of Apples as Affected by Physical and Mechanical Properties of the Fruit. *Pa. Agr. Exp. Sta. Bul.* 721, 1965.
10. Mohsenin N., H. E. Cooper, L. Tukey.: Engeneering Approach to Evaluating Textural Factors in Fruits and Vegetables. *Transactions of the ASAE* 6(2), s. 85 + 88, 92, 1963.
11. Mohsenin N., H. Goshlich: Technique for Determination of Machanical Properties of Fruits and Vegetables as Related to Desing and Development of Harvesting and Processing Machinery. *J. of. Agric. Engng. Res.* 7, s. 300, 1962.
12. Mohsenin N. N., H. Goehlich, L. D. Tukey.: Mechanical Schavior of Apple Fruit as Related to Bruising. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 81, s. 61, 1962.
13. Pflug J. J., F. M. Hoffe, R. C. Nicholas: A Mechanical Recording Pressurs Tester Quart. *Bull Mich. Ag. Exp. Sta.* 43 (1), s. 117 + 121, 1960.
14. Schmidt J.: Zum Problem der sortenbedingten Festigkeit des Frucktfleisches bon Apfeln. *Die Cartenbauwissenschaft* 27 (9) Band Heft 3, s. 303 + 358., 1962.
15. Timbers G. E., L. M. Staley, E. L. Watson.: Determining Modulus of Elasticity in Agricultural Products by Loaded Plungers *Agricultural Engineering* 46 (5) s. 274 + 275, 1965.

*Борыс Белюга*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ СКОРОСТНЫХ СЪЕМОК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯБЛОК

### Резюме

Проводимые до сих пор испытания по восприимчивости сельскохозяйственных продуктов к повреждениям ограничиваются лишь начальной и конечной регистрацией процесса деформации. Использование в измерениях универсального прибора „Интрон 1253” для динамического и статического испытания материалов и кинокамеры „Хайспид” позволило регистрировать полностью процесс деформации. Испытания проводились на двух сортах поздне-зимних яблок: Бойкен и Старкинг, в два разных срока. Характерными измерительными величинами были: сила разрыва мякоти, деформация образца и угол наклона чертежа.

Измерения позволили установить, что более восприимчивыми к разрыву мякоти были образцы сорта Стеркинг. Более восприимчивым к деформации оказался сорт Бойкен, тогда как образцы сорта Старкинг характеризовались сравнительно малой пластичностью.

Использование кинокамеры „Хайспид” в регистрировании процесса разрыва мякоти позволило определить новое механическое свойство, т. е. упругость. Произведенный фильм был подвергнут анализу.

*Borys Bieluga*

## THE QUICK-SHOT TECHNIQUE APPLICATION FOR DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF APPLES

### Summary

The hitherto tests on susceptibility of agricultural products to injuries were confined only to an initial and final recording of the deformation process. The application in measurements of the Instron 1253 universal device for dynamical and statical testings of materials and of the Hyspeed film camera enabled a full recording of the deformation process. The tests were carried out on two late-winter apple varieties — Boiken and Starking, at two different dates. Characteristic measurement values were: flesh tear strength, sample deformation and graph inclination angle.

The measurements enabled to state that samples of the Starking variety were more susceptible to flesh tearing. It was the Boiken variety, which proved to be more susceptible to deformation, whereas samples of the Starking variety distinguished themselves by a relatively low plasticity.

The Hyspeed film camera application in recording of the flesh tearing process enabled to determine a new mechanical factor, i.e. elasticity. The film produced was subjected to the analysis.