

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE SKÓRKI ORAZ WSPÓŁCZYNNIK
TARCIA JABŁEK ODMIANY GALA PRZECHOWYWANYCH
W RÓŻNYCH TEMPERATURACH

B. Dobrzański, jr¹, R. Rybczyński¹, C. Puchalski²,

¹Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

²Zakład Mechanizacji Rolnictwa, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów

Streszczenie. Badanie współczynnika tarcia jabłek o różne powierzchnie może być wykorzystane przy projektowaniu urządzeń zmechanizowanej produkcji ogrodniczej. Z drugiej strony znajomość wytrzymałości na rozciąganie skórki jabłek może ograniczyć występowanie mechanicznych uszkodzeń takich, jak: nacięcia czy też przerwania skórki, powstające podczas sortowania, przeładunku i transportu owoców. Celem badań było wyznaczenie mechanicznych właściwości skórki jabłek przechowywanych w różnych warunkach oraz określenie wpływu wilgotności względnej powietrza na współczynnik tarcia jabłek o powierzchnie, najczęściej spotykane w urządzeniach ogrodniczych. Badania prowadzono na jabłkach odmiany Gala wykorzystując wycinki skórki do testu rozciągania oraz całe owoce do wyznaczania współczynnika tarcia o różne powierzchnie. Do każdej kombinacji testów rozciągania wycinano po 30 pasków skórki o przekroju poprzecznym 2 mm x 0,2 mm i rejestrowano dla każdej próbki wykres siła-przemieszczenie. Współczynnik tarcia wyznaczono w 10 powtórzeniach stosując stałą siłę docisku 17 N oraz prędkość przesuwu 4,17 mm·s⁻¹. Test przeprowadzono na jabłkach kondycjonowanych przy wilgotności względnej powietrza od 35 % do 95% oraz na owocach zanurzanych w wodzie.

Jabłka przechowywane w temperaturze 2⁰C charakteryzują się skórką o najniższej wytrzymałości mechanicznej. Wilgotność względna powietrza i zanurzenie owoców w wodzie miało istotny wpływ na wartości współczynnika tarcia statycznego oraz dynamicznego.

Słowa kluczowe: jabłka, skórka, wytrzymałość na rozciąganie, współczynnik tarcia.

WSTĘP

Owoce zarówno przed przechowywaniem chłodniczym jak i w okresie obrotu handlowego, a szczególnie podczas transportu, przeładunku i sortowania narażone są na obicia i odgniecenia [2,20] oraz otarcia [16-18], których skutkiem są wyraźne rozerwania skórki. Wielkość uszkodzeń takich jak nacięcia, skaleczenia skórki, zależna jest od stanu dojrzałości owoców [19,21], ich jędrności [4,5], potencjału wody tkanki mięszu [6,7] oraz współczynnika tarcia o określoną powierzchnię [16-18].

Otarcia skórki, oprócz obić i odgnieceń owoców, są najczęściej spotykanymi uszkodzeniami podczas zbioru, transportu oraz przeładunku jabłek [2,10,23,24,27]. Widocznym objawem otarcia jest przerwanie skórki owocu i pojawienie się jasnej powierzchni mięszu. Uszkodzenie skórki na skutek otarcia powstaje gdy siła tarcia powstająca na powierzchni kontaktu pomiędzy poruszającym się owocem a innymi obiektami jest większa od wytrzymałości na rozciąganie paska skórki o szerokości rzutu powierzchni kontaktu. Wielkościami wpływającymi na warunki układu tarcia są przede wszystkim współczynnik tarcia, który zależny jest od stopnia woskowatości skórki oraz występowania wody na powierzchni owocu. Badanie współczynnika tarcia jabłek o różne powierzchnie może być przydatne do opracowania zmechanizowanej technologii produkcji oraz przy projektowaniu urządzeń sortujących oraz środków przeładunkowo-transportowych. Z drugiej strony, znajomość właściwości mechanicznych skórki jabłek decydujących o jej wytrzymałości na rozciąganie może wpłynąć na zredukowanie występowania mechanicznych uszkodzeń takich jak: nacięcia, pęknięcia czy przerwania, zwykle powstających podczas sortowania, przeładunku i transportu owoców.

Czynnikami modyfikującymi warunki pomiaru współczynnika tarcia są również: rodzaj powierzchni, z którą się kontaktuje badany materiał [3,8,11,13,22,27], siła docisku do badanej powierzchni [9,14] oraz właściwości mechaniczne materiału, które wpływają na rozkład naprężeń oraz na wielkość powierzchni kontaktu.

Celem badań było stworzenie podstaw do opracowania modelu powstawania uszkodzenia skórki owocu poruszającego się z określoną prędkością względem różnych powierzchni spotykanych w transporcie i sortowaniu owoców, w warunkach wysokiej wilgotności do jakiej często dochodzi po wyjęciu z chłodni owoców, na których powierzchni pojawia się skroplona woda. Badanie te miały również na celu określenie zmienności właściwości mechanicznych skórki jabłek przechowywanych w różnych warunkach oraz określenie wpływu wilgotności względnej powietrza lub efektu moczenia na współczynnik tarcia skórki jabłek względem różnych typów powierzchni urządzeń i opakowań występujących w ogrodnictwie.

MATERIAŁ I METODY

Opracowanie oraz zweryfikowanie metody pomiaru podstawowych właściwości mechanicznych odpowiadających za wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne skórki jabłek przeprowadzono na jabłkach odmiany Gala. Badania prowadzono w latach 1999-2000 na owocach pochodzących z sadu doświadczalnego Akademii Rolniczej w Lublinie. Ze względów metodycznych, których celem było zróżnicowanie właściwości mechanicznych owoców, jabłka przechowywano w chłodni w temperaturze: 2⁰C i 6⁰C przez okres 7 miesięcy, a w temperaturze 14⁰C przez okres 6 miesięcy, mimo, że owoce tej odmiany przechowuje się w chłodni do lutego, a tylko w warunkach kontrolowanej atmosfery do maja. Badania prowadzono na całych owocach podczas wyznaczania współczynnika tarcia, a w testach rozciągania wykorzystano wycinki skórki jabłek. Testy rozciągania skórki jabłek przeprowadzono po każdym miesiącu przechowywania, określając wytrzymałość na rozciąganie. Rejestrowano wykres siła-przemieszczenie przy stałej prędkości (5 mm·s⁻¹) przesuwu głowicy pomiarowej maszyny wytrzymałościowej Instron model 6022. Przeprowadzenie testów rozciągania pozwala zarejestrować parametry mechaniczne takie, jak: siłę w zakresie naprężeń krytycznych F_S , odpowiadającą deformację oraz pracę zniszczenia tkanki, a także wyznaczyć moduł sprężystości E_S w zakresie naprężeń sprężystych. Do testów rozciągania pobierano po trzydzieści wycinków skórki dla każdej badanej kombinacji, w tym nie więcej niż po 5 wycinków z każdego jabłka. Próbkę skórki z przystającą tkanką miąższu o kształcie paska przewężonego w części środkowej na długości 10 mm wycinano równoległe do osi owocu. Miąższ usuwano bezpośrednio przed testem rozciągania, eliminując wysychanie skórki, co zapewniało powtarzalny docisk uchwytów niezależny od właściwości mechanicznych miąższu oraz od wpływu tych właściwości na wytrzymałość skórki na rozciąganie. Przewężona część środkowa próbki o długości 10 mm i przekroju poprzecznym 2 mm x 0,2 mm podlegała rozciąganiu, a stały przekrój części środkowej próbki podlegającej odkształceniu (wydłużeniu), pozwalał na wyznaczenie modułu sprężystości. Wielkość tę określano w oparciu o prawo Hooke'a, korzystając z prostoliniowej części wykresu siła-przemieszczenie.

Współczynnik tarcia wyznaczono w dziesięciu powtórzeniach stosując stałą siłę docisku 17 N oraz prędkość przesuwu głowicy 4,17 mm·s⁻¹, wykorzystując ślizgowe stanowisko pomiarowe używane przy określaniu współczynnika tarcia owoców arbuza o różne powierzchnie [15,16] oraz maszynę wytrzymałościową Instron. W zastosowaniu dla jabłek stanowisko to szczegółowo opisali Puchalski i Brusewitz [17]. Test przeprowadzono przy stałej temperaturze 24⁰C oraz wilgotności powietrza 70%, wykonując dziesięć powtórzeń dla każdej z następujących wilgotności względ-

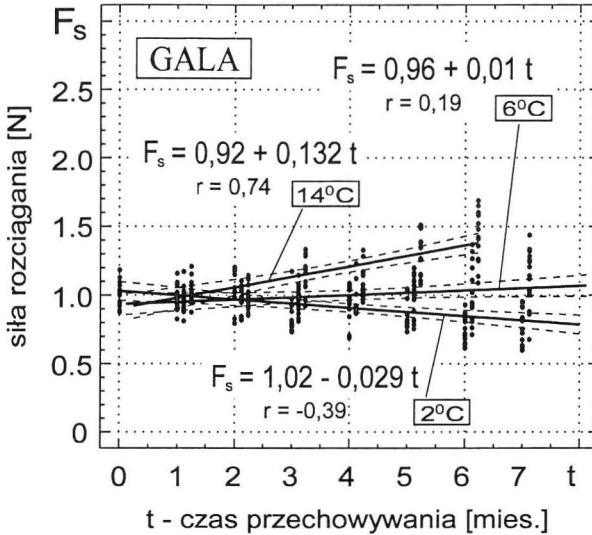
nej powietrza: 35, 55, 70, 95%, przy której kondycjonowano owoce przez 12 godzin przed wykonaniem testu lub dla owoców uprzednio zanurzanych przez 10 godzin w wodzie. Dodatkowo weryfikowano metodę wyznaczając współczynnik tarcia jablek o różne materiały spotykane w produkcji ogrodniczej takie, jak: guma stosowana w przenośniku poziomym sortownicy, tekstura opakowań kartonowych stosowanych w handlu hurtowym oraz tworzywa sztuczne (PCV).

WYNIKI I DYSKUSJA

Siła rozerwania skórki jablek odmiany Gala określona w testach rozciągania nie różnicowała istotnie statystycznie właściwości mechanicznych skórki w okresie pierwszych 4 miesięcy przechowywania, niezależnie od temperatury utrzymywanej w komorze. Dalsze przechowywanie owoców w temperaturze 14°C powodowało zmianę wytrzymałości na rozciąganie skórki jablek przechowywanych ponad 5 miesięcy. Przetrzywanie owoców w tych warunkach wywoływało nieznaczne przesychnienie skórki, co objawiało się wzrostem jej wytrzymałości na rozciąganie. Potwierdza to współczynnik kierunkowy zależności prostoliniowej oraz współczynnik korelacji $r = 0,74$. Natomiast przechowywanie jablek w niższych temperaturach (2°C oraz 6°C), czyli w bardziej prawidłowych warunkach wykazało, że czas przechowywania nie wpływa istotnie na zmianę siły rozrywającej skórę jablek, co potwierdzają niskie wartości współczynników korelacji (-0,39 i 0,19). Małe wartości współczynników kierunkowych, bliskie zeru - 0,029 i 0,01, wskazują na brak wpływu czasu przechowywania w trakcie całego badanego okresu.

Podobne rezultaty otrzymali autorzy dla skórki jablek odmiany Gala przeprowadzając testy przed oraz po przechowywaniu chłodniczym dla 12 odmian jablek [19]. W trakcie przechowywania wytrzymałość skórki jablek odmiany Gala nie różniła się statystycznie, chociaż jędrność jablek w tym okresie malała od 82,28 N do 60,34 N (wyznaczone dla średnicy penetrometru 6 mm przyjmowały odpowiednio wartości 23,99 N i 17,60 N). Brackmann i Saquet, [1] zaobserwowali, że po 8,5 miesiącach przechowywania jablek odmiany Gala wartość jędrności na poziomie 84,1 N malała do 66,6 N przy szybkim obniżaniu temperatury oraz w normalnych warunkach schładzania nawet do 46,3 N. Okres przechowywania chłodniczego wpływa również na spadek wartości potencjału wody mięszu tkanki jablek [6,7]. Powyższe uwagi oraz rezultaty otrzymane przez autorów świadczą o negatywnym wpływie czasu przechowywania na jędrność jablek sugerując, że wytrzymałość skórki na rozerwanie powinna również maleć w tym okresie. Jednak wartości siły otrzymane w ramach niniejszej pracy wskazują, że wytrzymałość na rozciąganie skórki jablek badanej odmiany Gala są zbliżone w całym okresie przechowywania

(Rys. 1). Dlatego celowym było wyznaczenie modułu sprężystości skórki - wielkości, której określenie wymaga uwzględnienia odkształcenia wzdłużnego, czyli wydłużenia.

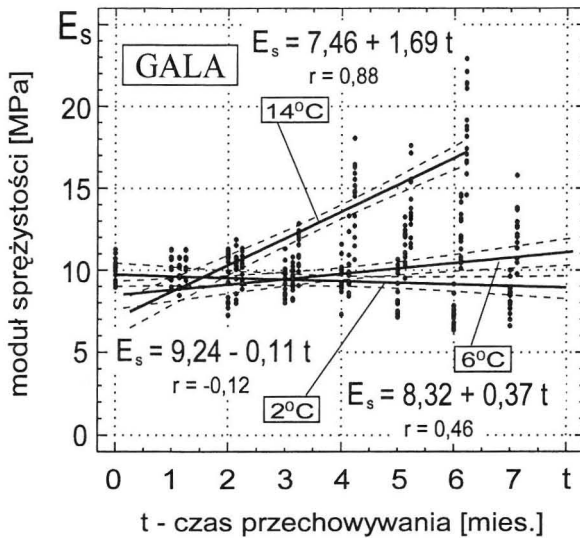


Rys. 1. Siła F_s odpowiadająca granicy wytrzymałości na rozciąganie skórki jabłek odmiany Gala przechowywanych przez 7 miesięcy w temperaturze: 2°C, 6°C i 14°C.

Fig. 1. The force F_s at tension strength of fruit skin of Gala apple stored for 7 months at temperature: 2°C, 6°C, and 14°C.

Rozstęp wartości modułu sprężystości E_s przedstawiony na Rys. 2, wyznaczonych bezpośrednio po zbiorze w teście rozciągania skórki jabłek odmiany Gala, obejmuje przedział od 8,9 MPa do 11,4 MPa. Jednak wartości modułu sprężystości uzyskane dla jabłek przechowywanych w temperaturze 14°C w miarę upływu czasu wykazywały tendencję wzrostową osiągając po 6 miesiącach przechowywania wartości sięgające nawet 23,1 MPa, a wartości uzyskane już po 4 miesiącach różniły się istotnie statystycznie obejmując rozstęp od 11,9 MPa do 18,2 MPa.

Owoce w temperaturze 14°C wraz ze wzrostem czasu przechowywania tracą więcej wody i ich skórka stając się bardziej sucha i sprężysta charakteryzuje się często większymi wartościami modułu sprężystości E_s , a wpływ czasu przechowywania w tej temperaturze potwierdza również współczynnik kierunkowy (1,69) zależności prostoliniowej oraz współczynnik korelacji $r = 0,88$. Moduł sprężystości skórki jabłek odmiany Gala przechowywanych w temperaturze 2°C przez cały okres badań utrzymywał się na podobnym poziomie, co potwierdza również współczynnik kierunkowy tej zależności (-0,11) oraz niski współczynnik korelacji (-0,12) świadcząc, że przechowywanie w obniżonej temperaturze pozwala zachować wyrównane i niezmiennie właściwości mechaniczne skórki owoców przez długi okres.



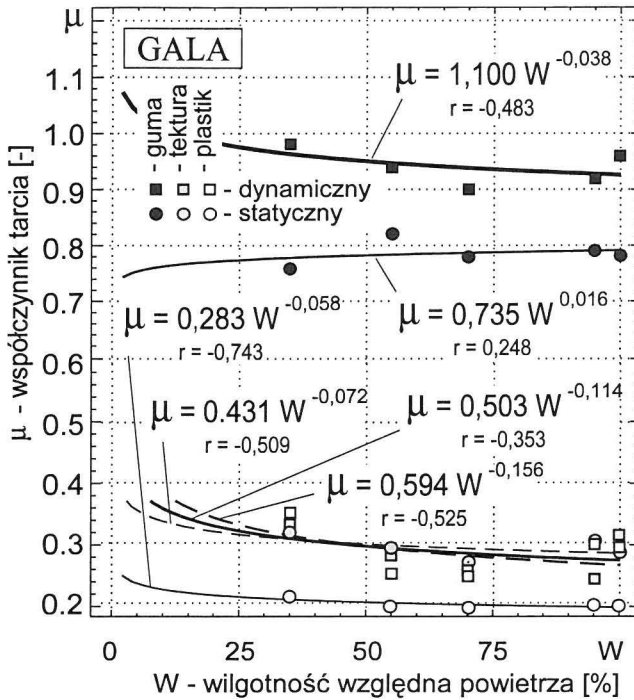
Rys. 2. Moduł sprężystości E_s skórki jabłek odmiany Gala przechowywanych przez 7 miesięcy w temperaturze: 2°C, 6°C i 14°C.

Fig. 2. The modulus of elasticity E_s at tension of fruit skin of Gala apple stored for 7 months at temperature: 2°C, 6°C, and 14°C.

Reasumując wyniki uzyskane w ramach tej części eksperymentu dotyczącej wytrzymałości skórki na rozciąganie i zmiany właściwości mechanicznych skórki jabłek w trakcie przechowywania można wyciągnąć wniosek, że skórka jabłek w całym okresie przechowywania posiada podobną wytrzymałość na rozciąganie, a ewentualne przesychanie w trakcie przechowywania owoców w podwyższonej temperaturze może powodować tylko wzrost jej wytrzymałości. Jednak wyjęte jabłka z chłodni, w zetknięciu z otaczającym powietrzem o wyższej temperaturze nawilżane są skraplającą się wodą na zimnej powierzchni sortowanych owoców [23,24]. Zjawisko to może niwelować ubytek powierzchniowy wody ze skórki i w zasadzie sortowanie owoców po wyjęciu z chłodni nie powinno odbywać się w warunkach, w których zachodziłyby większe zmiany wytrzymałości skórki na rozciąganie, jednak, niezależnie od okresu i warunków przechowywania skraplająca się woda na powierzchni owoców może modyfikować warunki tarcia skórki o inne powierzchnie [26,27]. Było to przedmiotem badań drugiej części opracowania.

Wilgotność względna powietrza oraz zanurzanie owoców w wodzie miało istotny wpływ na wartości współczynnika tarcia zarówno statycznego jak i dynamicznego. Współczynnik tarcia był zależny w większym stopniu od rodzaju stosowanej powierzchni niż od poziomu wilgotności względnej powietrza. Największe wartości współczynnika otrzymano podczas przeprowadzania testu tarcia o powierzchnię gumową.

Dynamiczny współczynnik tarcia przyjmował wartości dla tej powierzchni w zakresie 0,9-0,98, podczas gdy współczynnik statyczny obejmował rozstęp od 0,76 do 0,82 (Rys. 3.). Najmniejsze wartości współczynnika tarcia statycznego otrzymano dla powierzchni plastikowej (0,18-0,22), natomiast współczynnik tarcia, zarówno dynamiczny jak i statyczny, dla powierzchni tekturowej przyjmował zbliżone wartości w zakresie 0,26-0,34.



Rys. 3. Wpływ wilgotności względnej powietrza na wartość statycznego i dynamicznego współczynnika tarcia jabłek o powierzchnię tekturową, gumową oraz plastikową.

Fig. 3. The influence of relative humidity of air on static and dynamic coefficient of friction of Gala apple on cardboard, rubber, and plastic surface.

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem wilgotności względnej powietrza w zakresie od 35% do 70% dynamiczny współczynnik tarcia malał, zarówno dla powierzchni gumowej, tekturowej jak i plastikowej. Świadczą o tym ujemne współczynniki kierunkowe zależności opisujących wpływ wilgotności na wartość dynamicznego współczynnika tarcia. Jednak dalsze zwiększanie wilgotności powietrza czy też przetrzymywanie owoców w wodzie powodowało wzrost wartości tego współczynnika dla wszystkich badanych rodzajów powierzchni. Podobną tendencję zaobserwowano dla powierzchni tekturowej podczas wyznaczania współczynnika statycznego. Dla powierzchni plastikowej statyczny

współczynnik tarcia malał w całym zakresie zmian wilgotności, o czym świadczy ujemny współczynnik kierunkowy tej zależności, którą potwierdza najwyższy współczynnik korelacji ($r = -0,743$). Zaobserwowano, że dla powierzchni tekturowej, wyznaczony dynamiczny oraz statyczny współczynnik tarcia przyjmował zbliżone wartości. Dla pozostałych badanych materiałów, to jest gumy i plastiku, współczynnik dynamiczny przyjmował znacznie wyższe wartości niż wartości wyznaczone dla statycznego współczynnika tarcia. Występowanie swobodnej wody na powierzchni owoców, wygładzając ich powierzchnię oraz tworząc warstwę wody, może mieć wpływ na wartości statycznego współczynnika tarcia, podczas gdy ruch owocu względem powierzchni testowanej może usuwać jej nadmiar stwarzając inne warunki do wyznaczania dynamicznego współczynnika tarcia. Natomiast, w odróżnieniu do nieporowatej powierzchni gumy i plastiku, dla powierzchni tekturowej nadmiar wody wchłaniany jest już w chwili kontaktu z owocem, stwarzając zbliżone warunki pomiaru. Porównując wyniki spotykane w literaturze dotyczące wyznaczenia współczynnika tarcia jabłek o podobne powierzchnie, stwierdzono, że zbliżone rezultaty otrzymali wcześniej Puchalski i in. [18] oraz Puchalski i Brusewitz [17]. Mohsenin [12] przedstawia wyniki statycznego współczynnika tarcia dla 6 odmian jabłek o różne powierzchnie, z których dla sprężystej gumowej pianki otrzymane wartości w zakresie od 0,72 do 0,93 zbliżone są do otrzymanych w prezentowanym teście dla powierzchni gumowej. Vis i in. [25], wyznaczyli dla jabłek 5 odmian dynamiczny współczynnik tarcia o powierzchnie: teflonową, stalową, sztywną piankę oraz gumową. Wyznaczając dynamiczny współczynnik tarcia względem pasa o powierzchni gumowanej otrzymali wartości w zakresie od 1,83 do 2,78 (odpowiednio dla odmiany McIntosh i Red Romes); wyższe od przedstawionych w prezentowanej pracy. Natomiast dla powierzchni teflonowej, charakteryzującej się gładką powierzchnią, gładszą od powierzchni plastiku użytego w przedstawionym eksperymencie, otrzymali niższe wartości współczynnika tarcia względem tej powierzchni (0,11-0,18).

Należy podkreślić, że współczynnik tarcia może być modyfikowany przez siłę normalną oraz właściwości plastyczne miąższu jabłek, wpływając na faktyczne pole powierzchni kontaktu. Molenda i in. [13,14] zaobserwowali również wpływ prędkości przemieszczenia oraz ciśnienia normalnego na wartości wyznaczonego współczynnika tarcia materiałów roślinnych.

WNIOSKI

1. Jabłka odmiany Gala zarówno w stadium dojrzałości zbiorczej jak i po przechowywaniu różniły się wytrzymałością skórki na rozciąganie, pozwalając na określenie warunków, w których jabłka narażone są na otarcia z widocznym ubytkiem skórki. Wytrzymałość na rozerwanie wyznaczona jako maksymalna siła rozciągająca świadczy o odporności na uszkodzenie skórki jabłek, jednak to moduł sprężystości opisuje cechy materiałowe skórki. Wartości modułu sprężystości E_s uzyskane w teście rozciągania skórki wyznaczone w zakresie niewielkich odkształceń sprężystych umożliwiły zaobserwowanie zmian właściwości mechanicznych skórki jabłek po 4 miesiącach przechowywania w temperaturze 14°C.
2. Wilgotność względna powietrza jak i zanurzanie owoców w wodzie miało istotny wpływ na wartości współczynnika tarcia. Tarcie zależne było od rodzaju stosowanej powierzchni. Największe wartości współczynnika tarcia statycznego oraz dynamicznego zarejestrowano dla powierzchni gumowej i mimo, że materiał ten stosowany jest w urządzeniach sortujących aby ograniczyć obicia i odgniecenia jabłek, to jego wartość może mieć istotny wpływ na powstawanie uszkodzeń skórki o charakterze otarcia.
3. Powietrze o podwyższonej wilgotności względnej w zetknięciu ze skórką jabłek o niższej temperaturze powoduje skraplanie wody na powierzchni owoców i w konsekwencji prowadzi do spadku wytrzymałości na rozciąganie wilgotnej skórki jabłek, modyfikując równocześnie współczynnik tarcia owoców o stałe powierzchnie. Prowadzić to może do powstawania widocznych otarć podczas transportu oraz przeładunku. Otrzymane w ramach prezentowanej pracy wartości współczynnika tarcia należy jednak traktować jako wstępne wyniki, które pozwolą na opracowanie modelu otarcia owoców przemieszczających się względem powierzchni urządzeń i opakowań w celu wyjaśnienia mechanizmu powstawania uszkodzeń skórki jabłek.

PIŚMIENNICTWO

1. **Brackmann A., Saquet A.A.:** Low ethylene and rapid CA storage of „Gala” apples. *Acta Horticulturae*, 485, 79-83, 1999.
2. **Brusewitz G.H., Bartsh J.A.:** Impact parameters related to post harvest bruising of apples. *Trans. of the ASAE*, 32, 953-957, 1989.

3. **Chung J.H., Verma L.R.:** Determination of friction coefficients of beans and peanuts. *Trans. of the ASAE*, 32(2), 745-750, 1989.
4. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Stress-strain relationship for fruit firmness estimation. *Acta Horticulturae*, 485, 117-123, 1999.
5. **Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Requirements for the measurement of fruit firmness. CD-ROM of AgEng'2000 papers, Warwick, Paper: 00-PH-047, 1-7, 2000.
6. **Gołacki K., Dobrzański B. jr., Rybczyński R.:** The influence of storage time on failure parameters of apple. *Agric. & Biol. Eng. Conf.*, Newcastle, 4.6, 1-2, 1995.
7. **Gołacki K., Rybczyński R., Dobrzański B. jr.:** Water potential and failure parameters of apple flesh during storage. *Acta Horticulture*, 485, 167-171, 1999.
8. **Gupta R.K., Das S.K.:** Friction coefficients of sunflower seed and kernel on various structural surfaces. *J. agric. Engng Res.*, 71, 175-180, 1998.
9. **Horabik J., Molenda M.:** Grain pressure in a model silo as affected by moisture content increase. *International Agrophysics*, 14(4), 385-392, 2000.
10. **Kader A.A.:** Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae*, 485, 203-208, 1999.
11. **Kostaropoulos A.E., Mandala J., Spiess W.E.L., Saravacos G.D.:** Factors influencing the friction of raisins during processing and handling. *Journal of Food Engineering*, 33, 385-393, 1997.
12. **Mohsenin N.N.:** *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, Second Printing, 1978.
13. **Molenda M., Horabik J., Ross I.J.:** Wear-in effects on loads and flow in smooth-wall bin. *Trans. of the ASAE*, 39(1), 225-231, 1996.
14. **Molenda M., Thompson S.A., Ross I.J.:** Friction of wheat on corrugated and smooth galvanized steel surfaces. *J. agric. Engng Res.*, 77(2), 209-219, 2000.
15. **Puchalski C., Brusewitz G.H.:** Watermelon surface abrasion - a sensory method. *International Agrophysics*, 10(2), 117-122, 1996.
16. **Puchalski C., Brusewitz G.H.:** Watermelon abrasion resistance parameters from friction tests. *Trans. of the ASAE*, 39(5), 1765-1771, 1996.
17. **Puchalski C., Brusewitz G.H.:** Fruit ripeness and temperature affect friction coefficient of McLemore and Gala apples. *International Agrophysics*, 15(2), 109-114, 2001.
18. **Puchalski C., Brusewitz G.H., Dobrzański, jr. B., Rybczyński R.:** Relative humidity and wetting affect friction between apple and flat surface. *International Agrophysics*, 16(1), 67-72, 2002.
19. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B.:** The mechanical properties of apple after storage. *Acta Horticulturae*, 485, 319-324, 1999.
20. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B.:** Test zginania w ocenie mechanicznej odporności przy-powierzchniowej warstwy tkanki jabłka. *Acta Agrophysica*, 37, 209-215, 2000.
21. **Rybczyński R., Dobrzański, jr. B.:** Physical properties of apples after harvest. *Agricultural Engineering*, 32(3), 89-94, 2000.
22. **Schaper L.A., Yaeger E.D.:** Coefficient of friction of Irish potatoes. *Trans. of the ASAE*, 35(5), 1647-1651, 1992.

23. **Studman C.:** Quality in fresh fruit meaning, measurement and maintenance. Report N. 94-G-067, XII CIGR, AgEng'94, Milano, 2, 897-898, 1994.
24. **Studman C.:** Ergonomics in apple sorting: a pilot study. J. agric. Engng Res. 70, 323-334, 1998.
25. **Vis E., Wolf D., Stout B.A., Dewey D.H.:** Physical properties of apple fruit pertaining to orientation. ASAE Paper 68-333, ASAE Saint Joseph, Michigan, 1968.
26. **Zhang W., Hyde G.M., Cavalieri R.P., Paterson M.E.:** Apple bruise susceptibility vs. temperature and storage humidity. Amer. Soc. Agr. Eng. Paper 926009, St. Joseph, Michigan, 1992.
27. **Zhang J., Kushwaha R.L.:** Effect of relative humidity and temperature on grain-metal friction. Canadian Agricultural Engineering, 35, 41-44, 1993.

MECHANICAL PROPERTIES OF APPLE SKIN AND FRICTION COEFFICIENT OF GALA APPLES STORED AT DIFFERENT TEMPERATURES

B. Dobrzański, jr¹, R. Rybczyński¹, C. Puchalski²

¹Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27
bdob@demeter.ipan.lublin.pl

²Department of Agriculture Engineering, Rzeszów University, ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów

Abstract. Knowledge of the friction coefficient of apples on different surfaces is useful for the designing of handling equipment. On the other hand, tension strength of skin influences the resistance of fruits to mechanical injuries such as: dents, cuts, and breakage of apple skin at all transport manners and sorting. The objectives of this paper were: to determine the mechanical properties of apple skin of fruits stored at different conditions and to study the influence of air humidity on friction coefficient of apple slides on different surfaces, frequently used in manufacture of horticulture equipment. Gala apples were used in both experiments on tension test of apple skin and linear sliding friction test. Thirty skin peels with cross section area 2 mm x 0.2 mm were cut out for tension tests. The skin samples were fixed to the cross-head of the Instron universal machine. The force and tension strength was determined for each sample of apple skin. The frictions tests were carried out in ten replications under constant force of 17 N at sliding speed of 4.17 mm s⁻¹. The apples were hold in the water or in the air at relative humidity from 35 to 95%, before the tests.

The modulus of elasticity indicated the weakest mechanical properties of skin for apples stored in refrigerated chamber at 2^oC and the highest relative humidity. All conditions had significant effect on the static and dynamic coefficient of friction.

Key words: apple, skin, tension strength, coefficient of friction.