



ROZKŁADY NACISKÓW POWIERZCHNIOWYCH DLA AWOKADO PRZY STAŁEJ WARTOŚCI OBCIĄŻENIA

Roman Stopa, Piotr Komarnicki, Małgorzata Młotek*

Inżynieria Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

* Adres do korespondencji: ul. Chelmońskiego 37/41, 51-630 Wrocław, e-mail: malgorzata.porczyk@up.wroc.pl

INFORMACJE O ARTYKULE

Historia artykułu:
Wpłynął: październik 2013
Zrecenzowany: grudzień 2013
Zaakceptowany: styczeń 2014

Słowa kluczowe:
naciski powierzchniowe
awokado
ściskanie
czynnik czasu
pelżanie

STRESZCZENIE

W przeprowadzonych badaniach zaprezentowano wyniki pomiarów nacisków powierzchniowych awokado odmiany Fuerte w teście ściskania promieniowego pomiędzy płaskimi płytami przy stałej wartości obciążenia z uwzględnieniem czynnika czasu. Test przeprowadzono przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Instron 5566. Na dolnej płycie pod ściskany owoc Awocado umieszczony został czujnik systemu Tekscan o numerze 5076. Pozwoliło to na ciągłą obserwację warstw nacisków powierzchniowych na powierzchni styku oraz wyznaczenie rozkładu nacisków powierzchniowych pomiędzy awokado z płytą dolną maszyny wytrzymałościowej. Wyznaczono warstwicę i rozkłady nacisków powierzchniowych w różnych etapach testu pelżania. Wykazano, że maksymalne i średnie wartości nacisków powierzchniowych ulegają wyraźnemu zmniejszeniu w trakcie całego testu. Rozkład nacisków powierzchniowych ma kształt typowy dla zagadnień kontaktowych w sprężystym zakresie odkształceń, gdzie maksymalne wartości znajdują się w centralnej strefie styku i mają rozkład zbliżony do krzywej parzystej. Pod koniec testu nastąpiło tylko nieznaczne wyrównanie rozkładu nacisków na powierzchni styku Awocado z elementem roboczym maszyny wytrzymałościowej.

Wstęp

Awokado zaliczane do rodziny wawrzynowatych (Lauraceae), występuje w klimacie tropikalnym i subtropikalnym Ameryki. W Ameryce Południowej mieszkańcy znali go od ponad tysiąca lat. Awokado szybko rozpowszechniło się z Ameryki Północnej przez Środkową aż do Ameryki Południowej. Głównymi eksporterami są Peru, Chile i Meksyk, Nowa Zelandia i Południowa Afryka. W USA plantacje znajdują się w Kalifornii i na Florydzie. Sady produkują średnio siedem ton na hektar rocznie, a niektóre nawet osiągają 20 ton na hektar. Drzewo awokado nie toleruje niskich temperatur i może być uprawiane tylko w klimatach podzwrotnikowych i tropikalnych. Istnieje kilka odmian odpornych na zimno sadzone są one w regionie Gainesville na Florydzie, i przeżywają temperatury nawet do -6°C .

Owoc Awokado, ma gruszkowaty kształt, Gruby, zielony egzokarp otacza tłusty, kremowo zielonkawy miąższ (mezokarp) oraz niejadalne nasiono. Awokado należy do owoców kalorycznych zawiera 160 kcal w 100g. Wyjątkową cechą jest jego profil tłuszczowy. W 100 g zawiera 15,3 g tłuszczu, są to jednak tłuszcze jednonienasycone oraz kwasy omega-3. Awokado może być stosowane jako zamiennik masła lub margaryny. Jest produktem pochodzenia roślinnego więc nie zawiera cholesterolu i ma mniejszą zawartość kalorii w porównaniu do produktów tłuszczowych. W skład wartości odżywczych awokado wchodzi witaminy: A, B1, B2, C, PP, K i H, kwas pantotenowy, karoteny, białko oraz substancje mineralne: wapń, potas i fosfor.

Mimo iż istnieje ponad 500 odmian owoców awokado, to odmiany uprawne skupione są w trzech podstawowych grupach:

- Rasa meksykańska - (Środkowy Meksyk), o małych owocach (2,5-7,5 cm długości). miąższ ma smak orzecha włoskiego i zapach anyżu, zawiera 29% tłuszczu. Odmiana odporna na mróz, barwa różowo-brązowa.
- Rasa antylska – (Antyle), o większych owocach (7-25 cm długości). Wymaga ciepła i wilgoci. Owoc o barwie zielonkawożółtej
- Rasa gwatemalska – (Gwatemala), owoce o podobnej wielkości, ale o mniejszej zawartości tłuszczu (5-14%) o smaku wodnistym, barwa żółta do brązowo-mahoniowej. (www.itum.com.pl).

Ze względu na wartości odżywcze awokado staje się ważnym surowcem w przemyśle spożywczym. Podczas transportu, magazynowania i przechowywania owoce narażone są na uszkodzenia mechaniczne, co może prowadzić do obniżenia ich jakości i spowodować straty dla plantatorów i eksporterów. Poznanie zachowania się owoców Awocado pod działaniem sił zewnętrznych może doprowadzić do powstania nowych rozwiązań mających na celu poprawienie jakości produktów. Dbłość o surowiec może zmniejszyć straty na rynku wewnętrznym, co przekłada się na wyższą opłacalność produkcji (Nadulski, 2009; Plocharski i in., 2000).

Z uwagi na kształt owoców Awocado istotną rolę w przenoszeniu obciążeń w procesach zbioru, transportu i przechowywania odgrywają naciski powierzchniowe. Zagadnienia kontaktowe należą do jednych z bardziej skomplikowanych problemów związanych z wytrzymałością nie tylko materiałów pochodzenia biologicznego. Jedną z metod stosowanych w praktyce przy obliczaniu nacisków powierzchniowych oparta jest na wzorach Hertza. Stosowanie tych wzorów w stosunku do materiałów roślinnych nie ma uzasadnienia teoretycznego. Mimo tego badania niektórych autorów wykazały, że zastosowanie teorii Hertza może w wielu przypadkach prowadzić do budowy godnych zaufania wskaźników opisujących naciski powierzchniowe czy czas kontaktu, chociaż błędy mogą sięgać 20% (Rabelo, 2001; Siyami i in., 1988). Badania modelowe obejmujące zagadnienie nacisków powierzchniowych korzeni marchwi budowane przy wykorzystaniu MES wykazują dobre dopasowanie wyników badań modelowych do wartości rzeczywistych (Stopa, 2011).

Badania właściwości wytrzymałościowych owocu awokado przeprowadzał Edward A. Baryeh (2002) wykazując, że bezpośrednio po zbiorze są one bardzo wysokie, ale ulegają gwałtownemu pogorszeniu już po 7 dniach. Przeprowadzono próby udarnościowe, po których okazało się, że przy próbie swobodnego spadania z wysokości 0,5m bezpośrednio po zbiorze zostało uszkodzone 25% owoców, podczas gdy po 15 dniach przechowywaniu uszkodzeniu uległo 90%. Stwierdził również, że świeże owoce można pakować w dREW-

niane skrzynki do 35 warstw, ale już po 15 dniach zalecane są tylko dwie warstwy. W swojej pracy Herold i in.(2001) wykorzystali system Tekscan pozwalający na pomiar rozkładu nacisków powierzchniowych na całej powierzchni styku elementu obciążającego z badanym obiektem. Inną metodę niezbędną przy wyznaczaniu nacisków powierzchniowych zaproponował (Lewis, 2008). Polegała ona na zastosowaniu fali ultradźwiękowej.

Van Zeebroeck (2003), wykonał modele dyskretne metodą elementów skończonych pozwalające na wyznaczenie wpływów warunków transportu na straty spowodowane uszkodzeniem jabłek. Modelowanie metodą elementów skończonych przeprowadzili również M. Valente i inni (1996), badając wymianę ciepła w trakcie suszenia awokado.

Cel badań

Celem badań było wyznaczenie warstwicy oraz rozkładów średnich nacisków powierzchniowych awokado odmiany Fuerte jako funkcji czasu w teście ściskania promieniowego oraz wyznaczenie zmian wartości nacisków powierzchniowych jako funkcji czasu w centralnej strefie styku.

Metodyka i przedmiot badań

Badania przeprowadzone zostały w Laboratorium Agrofizyki Instytutu Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową INSTRON 5566 wyposażoną w głowicę tensometryczną o zakresie pomiarowym do 1 kN pozwalającą mierzyć siłę z dokładnością do 1 N, a przesunięcie z dokładnością do 0,05 mm. Maszyną sterował komputer z zainstalowanym programem BlueHill pozwalającym na rejestrację i analizę wyników badań. Prędkość posuwu głowicy do momentu osiągnięcia założonej wartości obciążenia wstępnego wynosiła 1,8 mm·min⁻¹.

Do badań użyto awokado odmiany Fuerte pochodzących z Peru. Owoce zostały zakupione w Polsce. Wyselekcjonowano egzemplarze zdrowe, o podobnych wymiarach i masie wynoszącej od 180 do 220 g. W czasie prowadzenia pomiarów dbano o zachowanie stałej wilgotności surowca.

W pierwszej kolejności przeprowadzono pomiary zmierzające do wyznaczenia granicznych wartości obciążenia w teście ściskania. Wyznaczono wartość siły niszczącej F_{max} będącej podstawą do obliczenia wartości wstępnego obciążenia awokado F_0 i odpowiadającemu mu wartości przemieszczenia początkowego elementu obciążającego maszyny wytrzymałościowej Instron 5566.

Z punktu widzenia zagadnień kontaktowych w odniesieniu do materiałów pochodzenia biologicznego podstawowym problemem, przy wyznaczaniu nacisków powierzchniowych, jest pomiar pola powierzchni stykających się ciał oraz wartości siły nacisku. W prezentowanych badaniach zastosowano metodę opartą na wykorzystaniu systemu Tekscan pozwalającego na ciągłą obserwację zmian powierzchni styku awokado i z elementem roboczym urządzenia obciążającego, siły nacisku oraz nacisków powierzchniowych. Pomiary przeprowadzono przy trzech wartościach obciążenia wstępnego w 5-ciu powtórzeniach. Po wstępnych badaniach przyjęto czas pomiaru przy stałej wartości obciążenia wynoszący

1200 s. Zwiększenie czasu pomiaru ponad 1200 s nie wpływało na charakter zmian wartości nacisków powierzchniowych jako funkcji czasu.



Rysunek 1. System pomiarowy Tekscan
Figure 1. Tekscan measuring system

System Tekscan składa się z czujnika foliowego, uchwytu, rozdzielacza oraz programu obliczeniowego pozwalającego rejestrację wyników badań przeprowadzonych przy częstotliwości próbkowania ok. 1000Hz. Pozwala również na późniejszą analizę zgromadzonych danych. Do badań wykorzystano czujnik o numerze 5076 (rys. 1; tabela 1) zbudowany z układu równoległych elektrod przedzielonych warstwą folii poliestrowej. Miejscu przecięcia się elektrod tworzyły sensory pozwalające na określenia wartości siły obciążającej oraz pola powierzchni styku awokado z elementem roboczym maszyny wytrzymałościowej. W trakcie pomiarów rejestrowano zmiany pola powierzchni styku, wartości siły nacisku oraz warstwic nacisków powierzchniowych jako funkcji czasu.

Tabela 1
Dane techniczne czujnika foliowego 5076
Table 1
Technical data of the plastic sensor 5076

Wymiary czujnika		Kierunek wzdłużny		Kierunek poprzeczny		Ilość czujników (szt)	Gęstość czujników (szt·cm ⁻²)
Długość (mm)	Szerokość (mm)	Rozstaw (mm)	Ilość (szt)	Rozstaw (mm)	Ilość (szt)		
83,8	83,8	1,9	44	1,9	44	1936	27,6

Źródło: www.tekscan.com

Na całkowity błąd doświadczalnego wyznaczania nacisków powierzchniowych składały się błędy związane z kształtem próbek, z pomiarem siły nacisku oraz wyznaczeniem pola powierzchni styku próbki awokado z podłożem. Ze względu na bardzo staranne przygotowanie próbek do badań, błąd kształtu jako błąd systematyczny można pominąć. Pomiar siły, pomiar pola powierzchni styku oraz wartość nacisków powierzchniowych wyznaczano przy pomocy systemu Tekscan o następujących parametrach: dokładność systemu $<\pm 4\%$, błąd liniowości $<\pm 3\%$, powtarzalność wyników $<\pm 3,5\%$, histereza $<\pm 4,5\%$ oraz pełzanie: $<5\%$.

Wyniki badań i ich analiza

Na podstawie przeprowadzonych próby ściskania ustalono wartości siły maksymalnej powodującej zniszczenie badanego owocu, i na jej podstawie początkowego obciążenia próbek F_0 , oraz odpowiadającego im przemieszczenia elementu obciążającego Δl_0 (tab. 2). Test ściskania wykonano dla pięciu powtórzeń przy prędkości przesuwu głowicy pomiarowej wynoszącej $1,8 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Uzyskano maksymalną siłę F_{max} wynoszącą 674 N i odpowiadające jej przemieszczenie Δl_{max} wynoszące 23,9 mm. Na podstawie uzyskanych danych obliczono wartości początkowego obciążenia owoców (tabela 2).

Tabela 2

Parametry początkowe procesu ściskania

Table 2

Initial parameters of the compression process

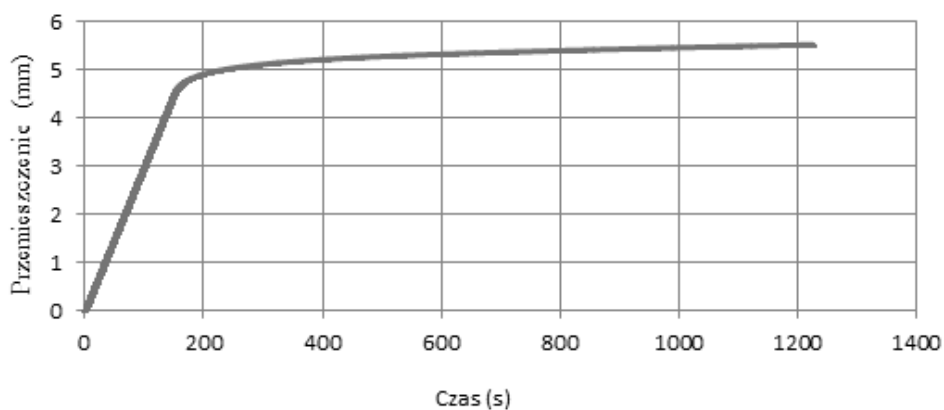
Parametry początkowe	Obciążenie początkowe	Przemieszczenie początkowe
10% F_{max}	$F_{010}=67,4 \text{ N}$	$\Delta l_{010}=2,39 \text{ mm}$
20% F_{max}	$F_{020}=134,8 \text{ N}$	$\Delta l_{020}=4,78 \text{ mm}$
30% F_{max}	$F_{030}=202,2 \text{ N}$	$\Delta l_{030}=7,07 \text{ mm}$

Poniżej zostaną przedstawione przykładowe wyniki badań uzyskane w próbie ściskania owoców Awocado dla początkowej wartości siły obciążającej wynoszącej 20% F_{max} (tabela 2).

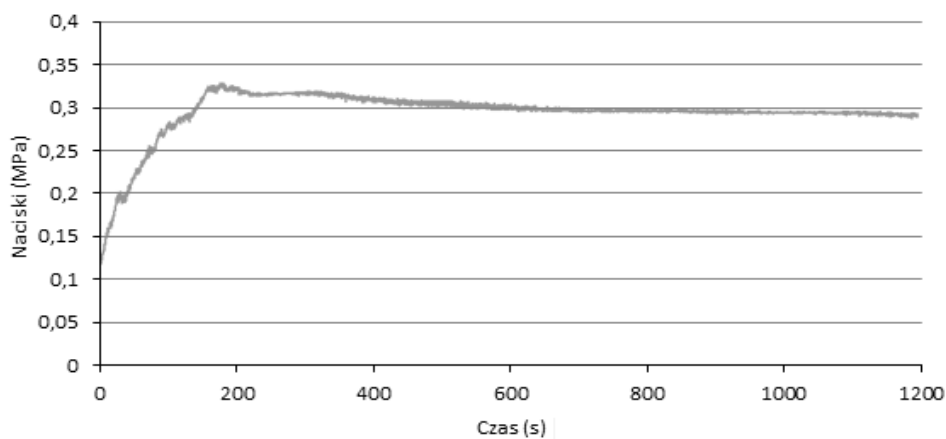
Rysunek 2 przedstawia przebieg zmian przemieszczenia głowicy pomiarowej maszyny wytrzymałościowej Instron jako funkcji czasu. Proces pełzania rozpoczął się po upływie 190 sekund od momentu rozpoczęcia pomiaru, po osiągnięciu założonego obciążenia $F_{020}=134,8 \text{ N}$ przy przemieszczaniu głowicy $\Delta l_{020}=4,78 \text{ mm}$. W końcowej fazie testu, po 1200 sekundach przemieszczenie osiągnęło wartość $\Delta l=5,58 \text{ mm}$, co oznacza, że średnia prędkość procesu pełzania wynosi $4,7 \cdot 10^{-2} \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Zmiana wartości średnich nacisków powierzchniowych w strefie styku awokado z elementem obciążającym maszyny wytrzymałościowej w czasie trwania testu przedstawiona jest na rysunku 3. W momencie rozpoczęcia testu średnie naciski powierzchniowe osiągnęły

nęły wartość $p=0,328$ MPa po czym stopniowo ulegały zmniejszeniu do poziomu $p=0,309$ MPa po upływie 500 sekund i $p=0,295$ pod koniec testu. Oznacza to, że w przedziale od 190 do 500 sekundy naciski powierzchniowe ulegały zmniejszeniu w tempie $612 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ natomiast w przedziale od 500 do 1200 sekundy tempo wynosiło $20 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$.

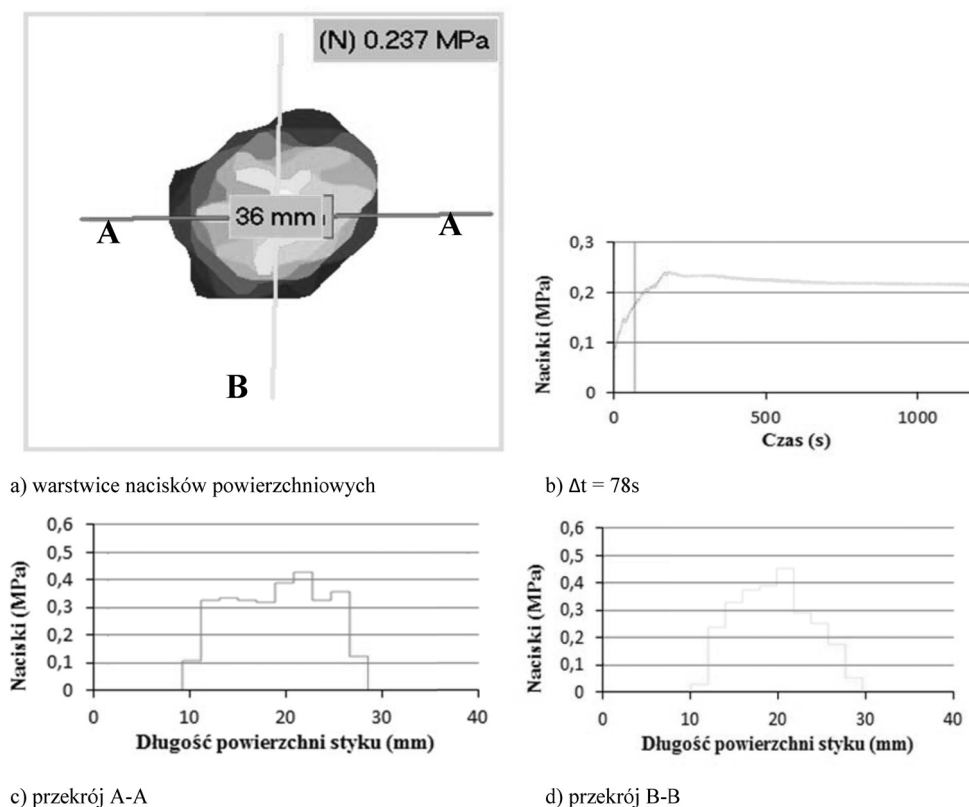


Rysunek 2. Przebieg procesu pełzania
Figure 2. Course of the creeping process



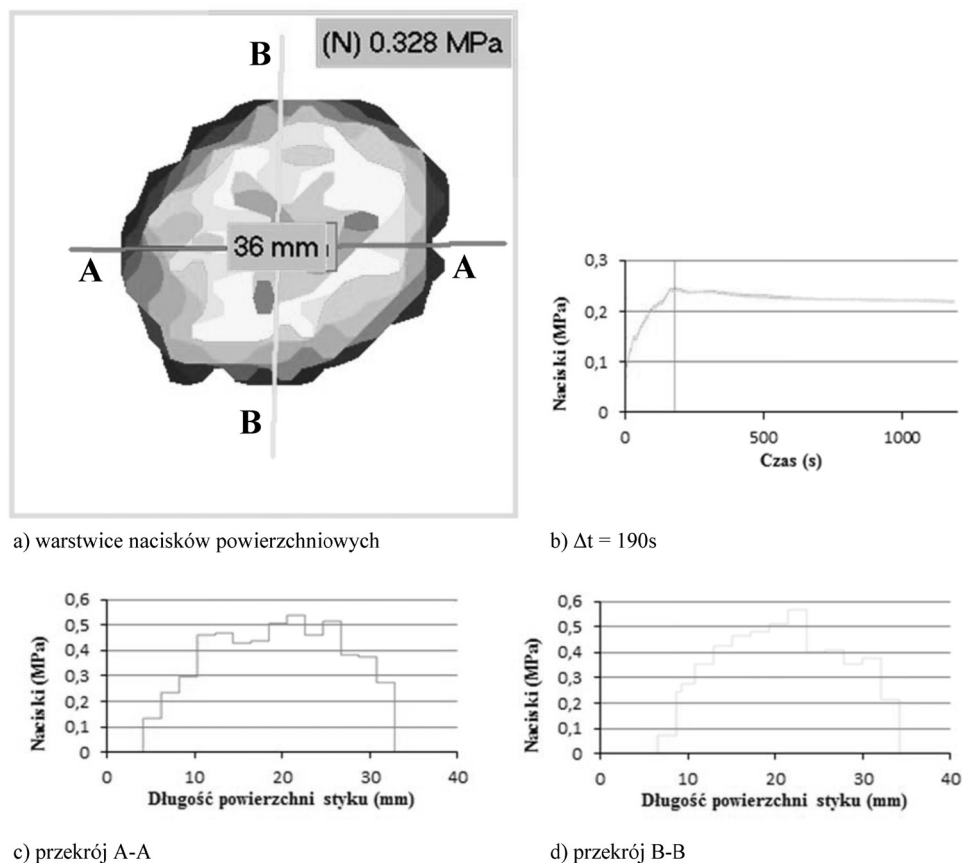
Rysunek 3. Średnie wartości nacisków powierzchniowych jako funkcja czasu $\Delta t=0$ do 1200s.
Figure 3. Average values of surface thrusts as a time function $\Delta t=0$ to 1200s

Rysunek 4 przedstawia warstwicę i rozkłady nacisków powierzchniowych awokado odmiany Fuerte po czasie $t=78$ s od momentu rozpoczęcia testu, w czasie dochodzenia do założonej wartości obciążenia początkowego $F_{020}=134,8$ N.



Rysunek 4. Warstwicę i rozkłady nacisków powierzchniowych w czasie $\Delta t=78$ s
 Figure 4. Contour layers and distribution of surface thrusts in time $\Delta t=78$ s

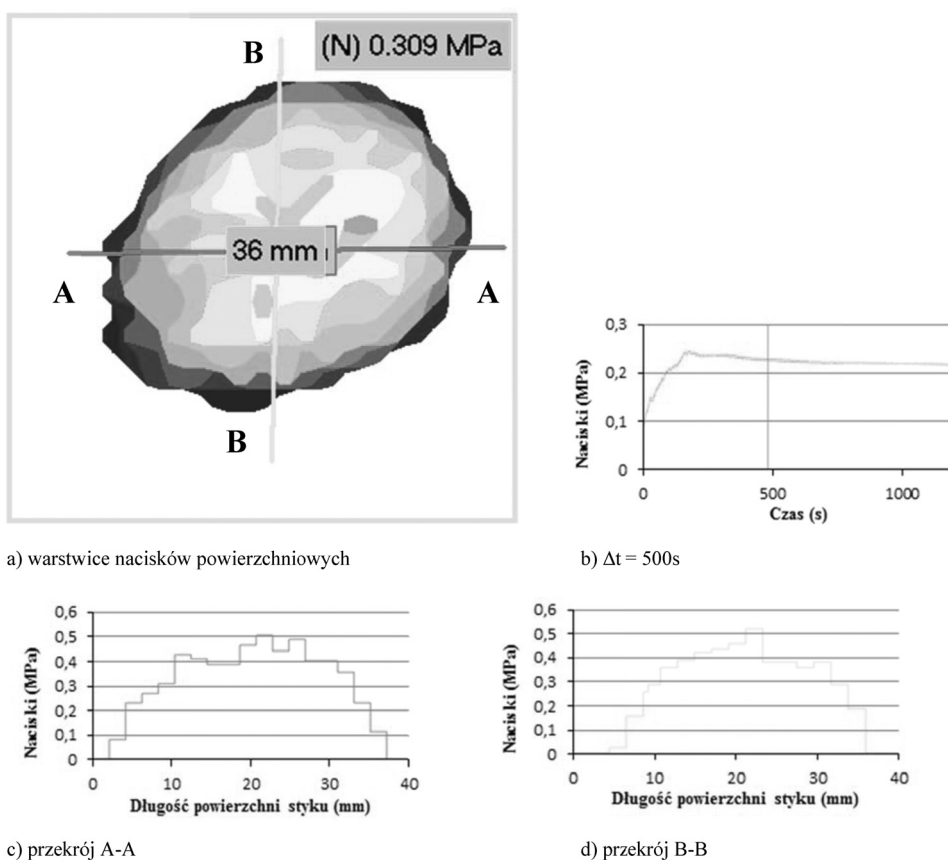
Warstwicę nacisków powierzchniowych wskazują na punktowy charakter oddziaływania elementu obciążającego na owoc awokado (rysunek 4a). Średnie wartości nacisków powierzchniowych wynoszą 0,237 MPa podczas gdy wartości maksymalne znajdujące się w centralnym punkcie styku wynoszą 0,451 MPa (rys. 4c,d).



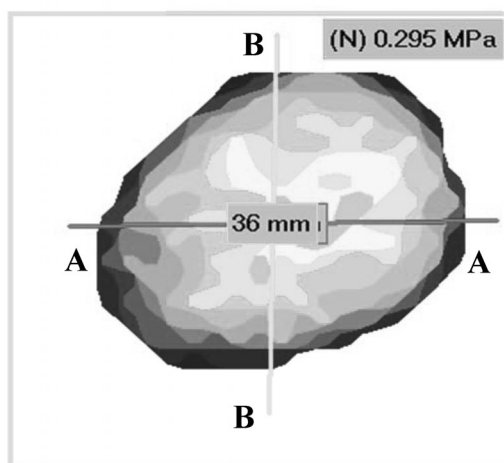
Rysunek 5. Warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych w czasie $\Delta t=190 s$
 Figure 5. Contour layers and distribution of surface thrusts in time $\Delta t=190 s$

W chwili rozpoczęcia procesu pełzania po upływie 190 sekund od momentu rozpoczęcia testu i osiągnięciu założonej wartości obciążenia $F_{020}=134,8 N$ (rys. 5a) charakter oddziaływania części roboczej maszyny wytrzymałościowej na owoc Awocado nie uległ istotnej zmianie. Maksymalne naciski powierzchniowe znajdują się w centralnej strefie styku (rys. 5c,d). Nastąpił jedynie wzrost ich wartości do poziomu 0,574 MPa przy średniej wynoszącej 0,328 MPa i wyraźnym wzniesie powierzchni styku. Świadczy to o braku destrukcji komórek Awocado w strefie styku. Należy przypuszczać, że zjawisko to spowodowane jest powolnym przemieszczaniem się płynów ze stref o większym ciśnieniu do stref gdzie znajdują się jeszcze wolne przestrzenie międzykomórkowe bez uszkodzenia ścian komórkowych.

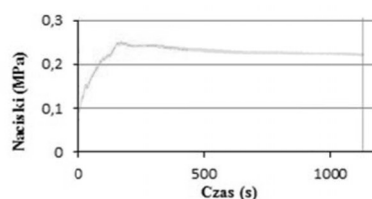
Rysunek 6 przedstawia warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych awokado po czasie $t=500$ s od momentu rozpoczęcia testu. Pole powierzchni styku awokado z maszyną wytrzymałościową nie uległo wyraźnej zmianie. Rozkład nacisków powierzchniowych wzdłuż powierzchni styku ma kształt krzywej parzystej. Maksymalne wartości nacisków powierzchniowych uległy zmniejszeniu i wynoszą $p=0,509$ MPa (rys. 6c,d), przy wartościach średnich $p=0,309$ MPa. Nie nastąpiło wyrównanie nacisków powierzchniowych na powierzchni styku, a maksymalne naciski znajdują się w nadal centralnej strefie styku (rys. 6a). Taki rozkład nacisków świadczy o sprężystym charakterze odkształceń tkanki mięszu awokado i braku destrukcji ścian komórkowych w procesie pełzania.



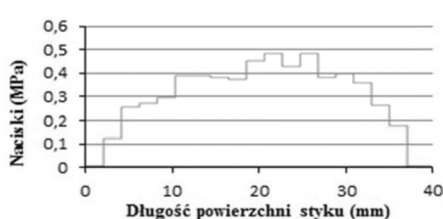
Rysunek 6. Warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych w czasie $\Delta t=500$ s
 Figure 6. Contour layers and distribution of surface thrusts in time $\Delta t=500$ s



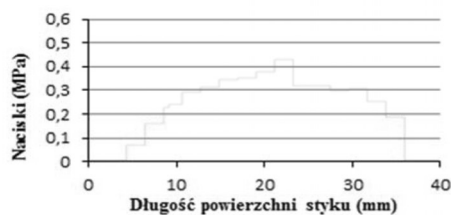
a) warstwy nacisków powierzchniowych



b) $\Delta t = 1200s$



c) przekrój A-A

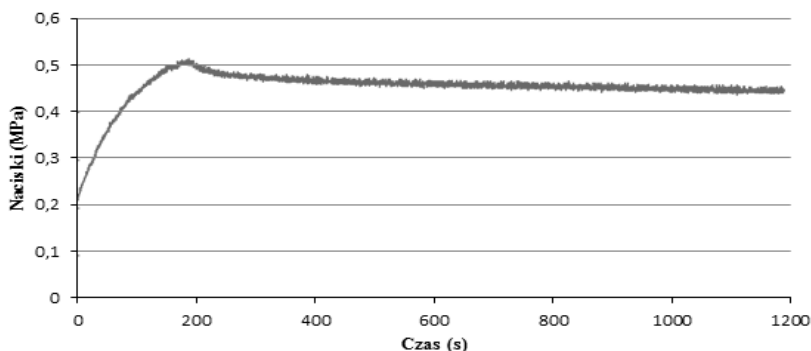


d) przekrój B-B

Rysunek 7. Warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych w czasie $\Delta t=1200 s$
 Figure 7. Contour layers and distribution of surface thrusts in time $\Delta t=1200 s$

W końcowej fazie testu pełzania owocu awokado, po upływie 1200 sekund od momentu rozpoczęcia próby warstwy i rozkłady nacisków powierzchniowych nie uległy wyraźnej zmianie. Nastąpiło tylko nieznaczne wyrównanie się nacisków powierzchniowych w strefie styku owocu z elementem roboczym maszyny wytrzymałościowej (rys. 7c,d) przy zachowaniu eliptycznego charakteru rozkładu wzdłuż powierzchni styku. Maksymalne wartości nacisków powierzchniowych uległy zmniejszeniu do wartości $p=0,475$ MPa przy naciskach średnich $p=0,295$ MPa.

Zmianę maksymalnych wartości nacisków powierzchniowych w centralnej strefie styku awokado z elementem obciążającym maszyny wytrzymałościowej w czasie trwania testu przedstawiono na rysunku 8. W momencie rozpoczęcia testu średnie naciski osiągnęły wartość $p=0,574$ MPa po czym stopniowo ulegały zmniejszeniu do poziomu $p=0,509$ MPa po upływie 500 sekund i $p=0,475$ pod koniec testu. A więc w przedziale od 190 do 500 sekundy naciski powierzchniowe ulegały zmniejszeniu w tempie $209 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ natomiast w przedziale od 500 do 1200 sekundy tempo wynosiło $49 \cdot 10^{-6} \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$.



Rysunek 8. Maksymalne wartości nacisków powierzchniowych jako funkcja czasu $\Delta t=0$ do 1200s

Figure 8. Maximum values of surface thrusts as a time function $\Delta t=0$ to 1200s

Wnioski

1. Wartość maksymalnych nacisków powierzchniowych w całym cyklu obciążenia ulega zmniejszeniu od wartości 0,574 MPa na początku testu do 0,475 MPa na końcu testu, przy czym w początkowej fazie testu (190-500 sekund) prędkość zmniejszania się nacisków była czterokrotnie większa niż w fazie końcowej.
2. Wartość średnich nacisków powierzchniowych w całym cyklu obciążenia ulega zmniejszeniu od wartości 0,328 MPa do 0,295 MPa, przy czym w początkowej fazie testu (190-500 sekund) prędkość zmniejszania się nacisków była trzydziestokrotnie większa niż w fazie końcowej.
3. Przesunięcie elementu roboczego maszyny wytrzymałościowej ulega zwiększeniu od wartości początkowej $l_0=478$ mm do wartości $l_1=558$ mm na końcu cyklu.
4. Rozkład nacisków na powierzchni styku awokado z elementem obciążającym i nie ulega wyrównaniu w trakcie testu pełzania.
5. Maksymalne wartości znajdują się w centralnej strefie styku owocu z elementem obciążającym.

Literatura

- Baryeh, E. A. (2000). Strength Properties of Awocado. *Pear Journal of Agricultural Engineering Research*, 76, Issue 4, 389-397.
- Herold, B.; Geyer, M.; Studman, C.J. (2001). Fruit contact pressure distributions-equipment. *Comput. Electron. Agric.* 32, 167-179.
- Valente, M.; Chambarel, A.; Cordonnier, J.; Pumborios, M. (1996). Finite element modelling of heat transfer in Awocados. *UR de Technologie BP 5035 34032 MontpeUier Cedex 1 France*, 2, 123-129.
- Lewis, R.; Yoxall, A.; Marshall, M.B.; Canty, L.A. (2008). Characterizing pressure and bruising in apple fruit. *Department of Mechanical Engineering, The University of Sheffield, Mappin Street, Sheffield S1 3JD, United Kingdom*, *Wear*, 264, 37-46.

- Nadulski, R. (2009). Wpływ czasu i warunków przechowywania jabłek na ich wybrane właściwości mechaniczne. *Inżynieria Rolnicza*, 2(111), 107-116.
- Płocharski, W. J.; Konopacka, D. (1999). The relations between mechanical and sensory parameters of apples. *Acta Horticulture*, 485, 309-318.
- Płocharski, W. J.; Konopacka, D.; Zwierz, J. (2000). Comparison of Magness-Taylor's pressure test with mechanical, non-destructive methods of apples and pears firmness measurements. *Int. Agro-physics*, 14, 311-318.
- Rabelo, G.F.; Fabbro, I.M.; Linares, A.W. (2001). Contact stress area measurement of spherical fruit. *Proceedings of Sensors in Horticulture III*, 195-200.
- Siyami, S.; Brown, G.K.; Burgess, G.J.; Gerrish, J.B.; Tennes, B.R.; Burton, C.L.; Zapp, R.H. (1988). Apple impact bruise prediction models. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 41, 1038-1046.
- Stopa, R. (2010). Modelowanie deformacji korzenia marchwi w warunkach obciążeń skupionych metodą elementów skończonych. *Monografie XCIII. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*. ISBN 987-83-60574-97-3.
- Studman, J. (1999). Handling Systems and Packaging. In: *F.W. Bakker-Arkema, Editor, CIGR Agricultural Engineering Handbook IV.3, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI*, 291-340.
- Van Zeebroeck, M.; Tijssens, E.; Liedekerke, P.V.; Deli, V.; Baerdemaeker, J.D.; Ramon, H. (2003). Determination of the dynamical behaviour of biological materials during impact using pendulum device. *Journal of sound and vibration*. 266(3), 465-480.
- Awocado, grupa Itum, pozyskano ze strony: www.itum.com.pl

DISTRIBUTION OF SURFACE THRUSTS ON AWOCADO FRUIT AT THE CONSTANT LOAD VALUE

Abstract. In the tests, which were carried out, results of measurements of surface thrusts of Awocado *Fuerte* cultivar in the radial compression test between flat panels at the constant load value including time factor were presented. The test was carried out with the use of Instron 5566 testing machine. On the bottom panel, under the compressed Awocado fruit a sensor of Tekscan system number 5076 was placed. It allowed a constant observation of contour lines of surface thrusts on the contact surface and determination of distribution of surface thrusts between Awocado with a bottom panel of the testing machine. Contour layers and distribution of the surface thrusts in different stages of creep test were determined. It was proved that the maximum and average values of the surface thrusts are subject to minimum changes during the whole test. Distribution of surface thrusts has a shape typical for contact issues in a spring scope of deformation, where maximum values are in the central zone of contact and have distribution similar to the even number curve. At the end of the test, distribution of thrusts on the contact surface of Awocado with a working element of the testing machine took place at the end of the test.

Key words: surface thrusts, Awocado, compression, time factor, creep