

WPŁYW AKTYWNOŚCI WODY I NAPRĘŻENIA ŚCISKAJĄCEGO  
NA ODKSZTAŁCENIE WYBRANYCH SKŁADNIKÓW NAPOJU  
KAKAOWEGO W PROSZKU

*Ewa Ostrowska-Ligęza, Andrzej Lenart*

Katedra Chemii, Zakład Chemii Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_ostrowska\_ligeza@sggw.pl

**Streszczenie.** Celem pracy była analiza wpływu aktywności wody i wielkości naprężenia ściskającego składników napoju kakaowego w proszku na wielkość odkształcenia względnego. Materiał badawczy stanowiły następujące surowce w postaci sypkiej: cukier kryształ, kakao, mleko w proszku i maltodekstryna. Przeprowadzono test ściskania przy trzech poziomach naprężeń ściskających (2,20; 3,77 i 5,34 kPa) i przy trzech poziomach aktywności wody materiałów (0,01; 0,34 i 0,65). Wykonano analizę właściwości ogólnych: składu granulometrycznego, gęstości luźnej i utrzęsionej oraz sypkości. Wielkość cząstek jak i aktywność wody składników napoju kakaowego w proszku ma wpływ na wielkość ich odkształcenia rzeczywistego i względnego.

**Słowa kluczowe:** kakao instant, aktywność wody, odkształcenie względne

## WSTĘP

Jednym z zadań przemysłu spożywczego jest przetwarzanie szybko psujących się surowców w bardziej trwałe produkty. Wśród tych wyrobów możemy znaleźć żywność w proszku, która jest trwała, wygodna i łatwa w dalszych operacjach technologicznych oraz w obrocie i transporcie. Wyroby takie odznaczają się długim okresem przechowywania i dużą trwałością (Domian 1997, Ostrowska-Ligęza i Lenart 1998, Fitzpatrick i in. 2004, Horabik 2004).

Sypka forma proszków spożywczych otrzymywanych różnymi metodami jak i wszystkie cechy związane z tym stanem, a więc wielkość cząstek, gęstość nasypowa, sypkość, higroskopijność i właściwości rekonstrykcyjne stanowią jedno z podstawowych zainteresowań technologii żywności. Droбноziarniste proszki są uciążliwe w stosowaniu, a znajomość ich właściwości fizycznych pozwala na oce-

nę jakości produktu (Beckett i Quinarini 1997). Właściwości mechaniczne proszków odgrywają ważną rolę w procesach związanych z obrotem materiałami ziarnistymi (Xiaoxun i Kunio 1998, Rahim i Al-Zahrani 2000, Horabik i Grochowicz 2002). Kakao z dodatkami, takimi jak: cukier, skrobia, mleko i inne stanowi napój kakaowy lub czekoladę do picia (Dolan i in. 1996, De Freitas Eduardo i Da Silva Lannes 2007).

Największe znaczenie z punktu widzenia zdolności materiału do płynięcia mają siły kohezji. Są one wynikiem tworzenia się stałych połączeń między cząstkami (tzw. mostków stałych), łączenia się cząstek poprzez mostki płynne oraz molekularnego i elektrostatycznego oddziaływania między cząstkami (Schubert 1990, Ostrowska-Ligęza i Lenart 1998, Pierrat i in. 1998, Zhou i Li 1999). Znaczenie sił kohezji w dużym stopniu zależy od odległości między cząstkami. Siły kohezji rosną wraz ze zmniejszaniem się rozmiaru cząstek. Siły te są także odpowiedzialne za tworzenie trwałych struktur, których wytrzymałość rośnie wraz ze wzrostem konsolidacji materiału (Valverde i in. 1998). Prace prowadzone przez Pelega i współpracowników (1982), dowodzą istnienia korelacji pomiędzy kohezją, kątem tarcia wewnętrznego, funkcją płynięcia proszków a takimi wielkościami charakteryzującymi właściwości mechaniczne jak ściśliwość czy zdolność relaksacji naprężeń. Ponadto, pomiary ściśliwości proszku jak i zdolności relaksacji naprężeń są czynnościami bardzo szybkimi i łatwymi do wykonania. Wyznaczenie parametrów uzyskiwanych z testów ściskania może prowadzić do metody pozwalającej na wyznaczenie wartości otrzymywanych z testów ścinania bez konieczności wykonywania tych testów.

De Freitas Eduardo i Da Silva Lannes (2007) badały korelację pomiędzy poziomem naprężenia ściskającego a teksturą proszków spożywczych. Do badań użyto jedenastu rodzajów napoju kakaowego w proszku o różnym składzie surowcowym. Proszki, które charakteryzują się zwartą strukturą złoza są mniej podatne na ściskanie. Tego typu proszki stwarzają mniej problemów w dystrybucji, handlu i technologii przetwórstwa materiałów ziarnistych.

Boonyai, Howes i Bhandari (2007) badali naprężenie ściskającego i temperaturę przejścia fazowego przy użyciu nowego modelu termicznego testu ściskania. Do badań użyto odtłuszczonego mleka w proszku. Równoczesne badanie wpływu naprężenia ściskającego na odkształcenie i temperatury przejścia fazowego proszków spożywczych jest testem, który jest bardzo pomocny w technologii przetwórstwa i kontroli jakości proszków. Odtłuszczone mleko w proszku zostało tu użyte jako proszek modelowy. Wyniki uzyskane przy użyciu modelu termicznego testu ściskania były poddawane testom odwoławczym przy użyciu testu różnicowej kalorymetrii skaningowej i analizy termomechanicznej.

Celem pracy była analiza wpływu aktywności wody i naprężenia ściskającego na wielkości odkształcenia względnego składników napoju kakaowego w proszku.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły następujące proszki: cukier kryształ, kakao, proszek mleczny tłusty i maltodekstryna średnioscukrzona.

Aktywność wody w próbkach oznaczano w aparacie do pomiaru aktywności wody firmy Rotronic model Hygroskop DT1 w temperaturze 25°C. Skład granulometryczny proszków i ich mieszanin oznaczano stosując analizę sitową wykorzystując zestaw sit o wielkości oczek: 0,2; 0,4; 0,63; 0,8; 1,0 i 2,0 mm. Próbkę o masie 100 g przesiewano przez 10 minut na wytrząsarce laboratoryjnej. Ważono masę zatrzymanego proszku na każdym sicie. Wyniki przedstawiono jako udział poszczególnych frakcji wielkościowych cząstek w ogólnej masie proszku (Domian 1997).

Gęstość nasypową luźną i utręsioną (Domian 1997) oznaczano przenosząc 100 g proszku do cylindra miarowego o pojemności 250 cm<sup>3</sup>. Odczytywano objętość proszku z dokładnością do 0,5 cm<sup>3</sup>. Postukiwano cylindrem 100 razy i odczytywano objętość proszku. Gęstość nasypową utręsioną i luźną wyrażano w kg·m<sup>-3</sup>.

Sypkość oznaczano odważając próbkę proszku o objętości 25 cm<sup>3</sup> biorąc za podstawę gęstość nasypową utręsioną (Domian 1997). Próbkę przenoszono do aluminiowego naczynia pomiarowego w kształcie walca o wymiarach: długość 90 mm, średnica podstawy 110 mm, mającego dwie szczeliny na całej długości walca o szerokości 4 mm każda. Sypkość wyrażano jako czas wysypu 25 cm<sup>3</sup> proszku przez szczeliny podczas ruchu obrotowego naczynia z prędkością 30 obr·min<sup>-1</sup>. Czas wysypu do 20 sekund wskazuje na dobrą sypkość proszku.

Odkształcenie względne określano na podstawie testu ściskania (Ostrowska-Ligęza 2001, Raji i Favier 2004). Test ściskania przeprowadzono w Uniwersalnej Maszynie Wytrzymałościowej ZWICK 1445. Proszek nasypywano do celki o średnicy 90 i wysokości 29 mm. Napędzanie prowadzono stopniowo warstwa po warstwie, rozprowadzając materiał po całej objętości celki, unikając ugniatania. Po napełnieniu celki, powierzchnię proszku wyrównywano zgarniając jego nadmiar. Następnie celkę z proszkiem ważono i obliczano jego masę. Celkę z materiałem ustawiano na płycie podstawy maszyny ZWICK i na jego powierzchni umieszczano głowicę pomiarową o średnicy 88 mm tak, aby prześwit między głowicą a ścianką celki pomiarowej wynosił około 1 mm. Próbkę proszku poddawano ściskaniu przy stałej prędkości przesuwu głowicy 1 mm·min<sup>-1</sup> (zakres pomiarowy głowicy do 10 kN). Ściskanie prowadzono do momentu osiągnięcia w próbce żądanego naprężenia normalnego. Wartości siły w funkcji czasu rejestrowane były, co 0,2 sekundy przez komputer. Próbki materiałów poddawane były testowi ściskania przy wartościach sił ściskających 14, 24 i 34 N (naprężenia ściskające 2,20; 3,77 i 5,34 kPa), odpowiadającej wartości naprężenia konsolidującego z testów ścinania. Każdy pomiar wykonywano w trzech powtórzeniach.

Interpretacja wyników testu ściskania została przeprowadzona na podstawie krzywych ściskania. Krzywe ściskania są wykresami obrazującymi przebieg zależności zmiany odkształcenia rzeczywistego  $\varepsilon$  od wartości naprężenia ściskającego  $\sigma$ . Odkształcenie względne  $\varepsilon_w$  wyznaczono korzystając z równania:

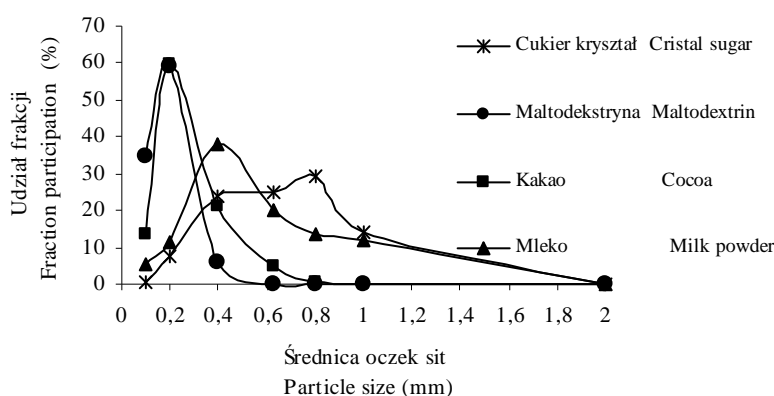
$$\varepsilon_w = (l_0 - l)/l_0 \quad (1)$$

gdzie:  $l_0$  – wysokość próbki przed ściśnięciem (mm),  $l$  – wysokość próbki po ściśnięciu (mm).

### WYNIKI I DYSKUSJA

Dla wszystkich badanych składników napoju kakaowego w proszku aktywność wody mieściła się w przedziale 0,30-0,35.

Analiza sitowa surowców użytych do produkcji napojów kakaowych wykazała, że największym udziałem frakcji o wymiarach cząstek poniżej 0,2 mm charakteryzowała się maltodekstryna – stanowiły one 34,9%. Większość cząstek maltodekstryny – 93,9% stanowiła frakcja o wymiarach poniżej 0,4 mm (rys. 1). W przypadku kakao dominujące były cząstki o wymiarach 0,2-0,4 mm, stanowiąc 59,9% masy próbki. Największe cząstki zaobserwowano w cukrze kryształ. Analiza sitowa wykazała duży udział frakcji o wymiarach cząstek 0,8-1 mm stanowiący 29,3% ogólnej masy. Udział procentowy frakcji o wymiarach cząstek 1-2 mm dla cukru kryształu wyniósł 13,9%. Dla mleka w proszku otrzymano wyniki analizy sitowej, w której 37,8% stanowił udział frakcji o wymiarach cząstek 0,4-0,63 mm. Udział procentowy frakcji o wymiarach cząstek 1-2 mm dla mleka był niewiele niższy niż dla cukru kryształu i wyniósł 12,2%.



**Rys. 1.** Skład granulometryczny składników napoju kakaowego w proszku o aktywności wody około 0,3  
**Fig. 1.** Particle size distribution of instant cocoa ingredients (water activity about 0.3)

Badania poszczególnych składników napoju kakaowego w proszku wykazały, że najmniejszą gęstością nasypową (zarówno luźną jak i utręzioną) charakteryzowało się kakao (tab. 1). Gęstość nasypowa luźna cukru kryształu była o 8% większa niż kakao, natomiast gęstość nasypowa utręzioną o 9%. Gęstość nasypowa luźna maltodekstryny była większa o około 5% niż cukru kryształu, a gęstość nasypowa utręzioną o około 12%. Mleko charakteryzowało się gęstością nasypową luźną zbliżoną do gęstości kakao, ale gęstością nasypową utręzioną wyższą o 15,06%.

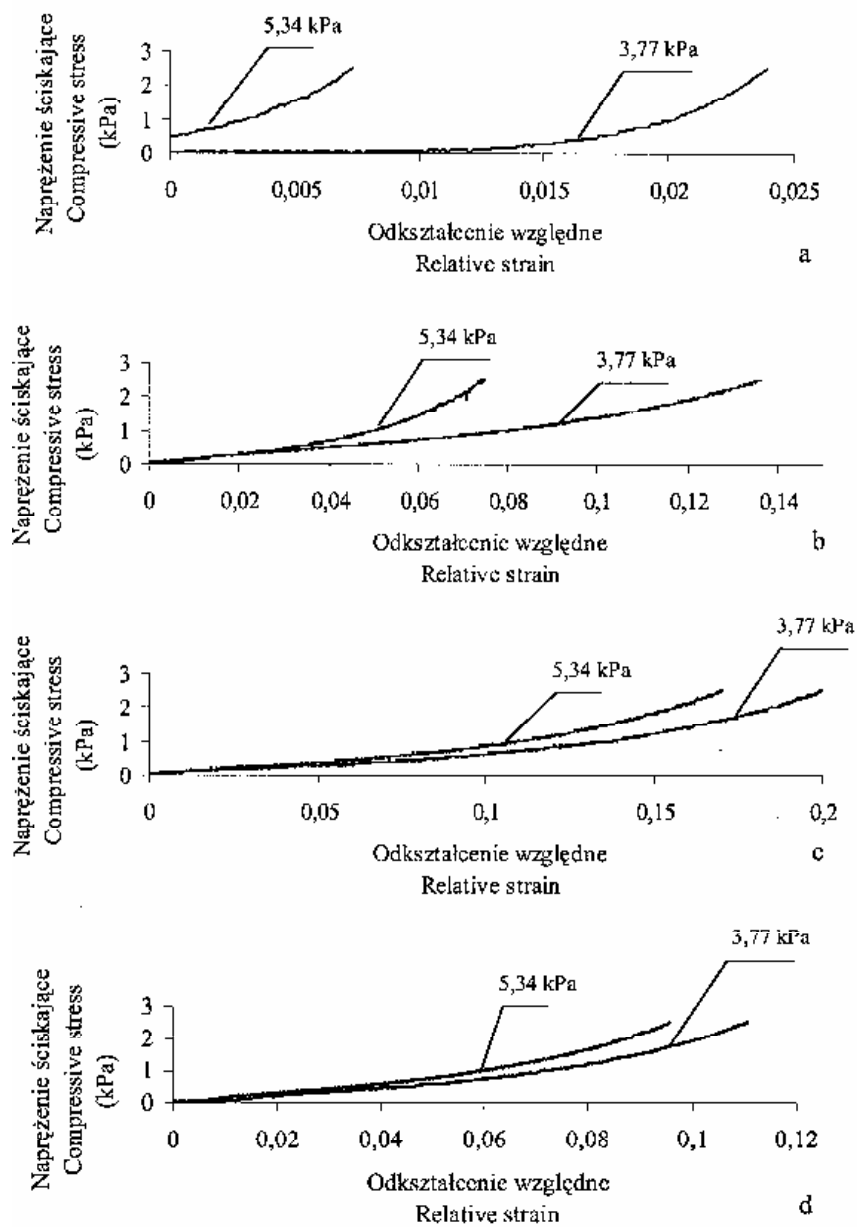
Analizując składniki napoju kakaowego w proszku pod względem sypkości można stwierdzić, że najlepsze właściwości posiadał cukier kryształ, dla którego czas wysypu wyniósł 8 sekund (tab. 1). Kakao i maltodekstryna charakteryzują się gorszymi właściwościami płynięcia niż cukier kryształ. Natomiast mleko w proszku odznacza się najgorszą sypkością i jest proszkiem trudno płynącym.

**Tabela 1.** Właściwości ogólne składników napoju kakaowego w proszku

**Tabel 1.** General properties of instant cocoa ingredients

Rodzaj oznaczenia Kind of properties	Jednostka Unit	Cukier kryształ Cristal sugar	Maltodekstryna Maltodextrin	Kakao w proszku Cocoa	Mleko w proszku Milk powder
Aktywność wody Water activity	Ułamek Fraction	0,34	0,30	0,35	0,33
Gęstość nasypowa luźna Bulk density	(kg·m <sup>-3</sup> )	500	529	458	465
Gęstość nasypowa utręzioną Bulk density shaken	(kg·m <sup>-3</sup> )	552	630	502	591
Sypkość Flowability	(s)	8	30	25	115

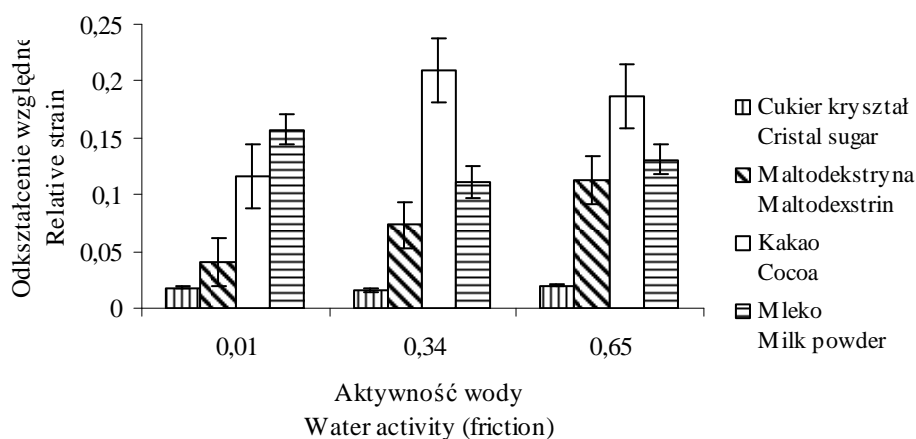
Na rysunku 2 przedstawiono wpływ naprężenia ściskającego 3,77 i 5,34 kPa na charakter przebiegu krzywych ściskania do momentu uzyskania wartości naprężenia ściskającego na poziomie 2,5 kPa dla składników napoju kakaowego w proszku o aktywności wody około 0,3. Proces ściskania prowadzony był do momentu uzyskania maksymalnych wartości naprężenia ściskającego, czyli 3,77 i 5,34 kPa. Na rysunku 2 uwzględniono tylko dane dla tego procesu do uzyskania wartości naprężenia ściskającego 2,5 kPa. Na rysunku 2a przedstawiono krzywe ściskania dla cukru kryształu. Krzywa ściskania przy naprężeniu ściskającym 3,77 kPa charakteryzowała się dużo łagodniejszym przebiegiem niż krzywa przy naprężeniu ściskającym 5,34 kPa. Wartość odkształcenia względnego  $\epsilon_w$  przy naprężeniu ściskającym 2,5 kPa (maksymalne



**Rys. 2.** Krzywe ściskania przy dwóch poziomach naprężenia ściskającego (maksymalnego) 3,77 i 5,34 kPa: a – cukier kryształ, b – maltodekstryna, c – kakao, d – mleko w proszku (aktywność wody około 0,3)

**Fig. 2.** Compression stress curves at two levels of compressive stress (maximum) 3.77 and 5.34 kPa: a – Crystal sugar, b – Maltodextrin, c – Cocoa, d – Milk powder (water activity about 0.3)

napężenie ściskające 5,34 kPa) była ponad 3 – krotnie niższa niż dla napężenia 3,77 kPa, które wyniosło około 0,0239. Odształcenie względne dla maltodekstryny przy napężeniu 5,34 kPa jest równe około 0,0747 natomiast dla maltodekstryny dla 3,77 kPa – 0,1362 (rys. 2). Krzywa ściskania dla 3,77 kPa ma identyczny przebieg jak krzywa dla 5,34 kPa w początkowej fazie procesu do wartości odształcenia względnego około 0,0278. Wartości odształcenia względnego dla napężenia 2,5 kPa różnią się znacznie. Krzywe ściskania kakao i mleka w proszku mają podobny przebieg (rys. 2c i d). Dla kakao wartość odształcenia względnego przy napężeniu maksymalnym 5,34 kPa osiągnęła poziom około 0,169, a przy 3,77 kPa – 0,201, natomiast dla mleka odpowiednio 0,096 i 0,111. Wartości odształcenia względnego dla cukru kryształu i maltodekstryny osiągają niższe wartości niż dla mleka i kakao przy poziomie 5,34 kPa maksymalnego napężenia ściskającego. Natomiast przy poziomie 3,77 kPa maksymalnego napężenia ściskającego najniższe wartości odształcenia względnego osiągają cukier kryształ i mleko w proszku. Najbardziej zróżnicowanym przebiegiem krzywych charakteryzują się cukier kryształ. Pomiędzy przebiegiem krzywych dla maksymalnego napężenia 3,77 i 5,34 kPa zaobserwowano największe różnice. Dla wszystkich składników napoju kakaowego w proszku kolejność ułożenia krzywych jest podobna, mniejsze wartości odształcenia względnego osiągają krzywe dla maksymalnego napężenia ściskającego 5,34 kPa.



**Rys. 3.** Zależność odształcenia względnego od aktywności wody badanych składników napoju kakaowego w proszku (napężenie ściskające 2,20 kPa)

**Fig. 3.** Influence of water activity of powdered instant cocoa ingredients on relative strain (compressive stress 2.20 kPa)

Na rysunku 3 przedstawiono zależność odkształcenia względnego od aktywności wody materiału dla naprężenia ściskającego 2,2 kPa. Cukier kryształ charakteryzuje się najmniejszymi wartościami odkształcenia rzeczywistego w odniesieniu do pozostałych składników. W miarę wzrostu aktywności wody odkształcenie rzeczywiste zwiększa się od około 0,018 przy aktywności wody bliskiej zero do około 0,0197 przy aktywności wody materiału 0,65 (tab. 2). Najniższą wartość odkształcenia względnego cukier kryształ osiąga przy aktywności wody 0,34. W maltodekstrynie – w miarę wzrostu aktywności wody wzrastają też wartości odkształcenia rzeczywistego. Maltodekstryna przyjmuje wyższe wartości odkształcenia względnego niż cukier kryształ.

Dla naprężenia ściskającego 2,20 kPa kakao przyjmuje najwyższe wartości odkształcenia rzeczywistego przy aktywności wody 0,34 – około 0,2098. Przy aktywności wody 0,65 wartość odkształcenia rzeczywistego jest niższa o około 10,8% a przy aktywności wody bliskiej zero o około 45%. Mleko w proszku osiągnęło najwyższą wartość odkształcenia względnego około 0,1569 przy aktywności wody bliskiej zero, a najniższą przy aktywności wody 0,34 – około 0,1108 (tab. 2). Cukier kryształ i maltodekstryna charakteryzowały się mniejszymi wartościami odkształcenia względnego niż kakao i mleko w proszku przy trzech poziomach aktywności wody. Prawdopodobnie spowodowane jest to dużym udziałem cząstek o większej średnicy w przypadku cukru kryształu, w efekcie „sztywniejszą” i mniej podatną na deformację strukturą złoza.

W tabeli 2 przedstawiono wartości odkształcenia względnego w zależności od aktywności wody i wartości naprężenia ściskającego dla badanej żywności w proszku. Dla maltodekstryny, kakao i mleka w proszku przy aktywności wody bliskiej zero i 0,65 zaobserwowano wzrost wartości odkształcenia względnego wraz ze wzrostem wartości naprężenia ściskającego (tab. 2). Cukier kryształ przy wszystkich poziomach aktywności wody osiągnął najwyższy poziom odkształcenia względnego dla maksymalnego naprężenia ściskającego 3,77 kPa. Przy aktywności wody 0,34 cukier kryształ i kakao charakteryzowały się najwyższymi wartościami odkształcenia względnego dla maksymalnego naprężenia ściskającego 3,77 kPa.

Przy aktywności wody 0,65 cukier kryształ i kakao osiągnęły niższe wartości odkształcenia względnego. Maltodekstryna i mleko w proszku przy aktywności wody 0,34 charakteryzowały się najniższymi wartościami odkształcenia względnego dla maksymalnego naprężenia ściskającego 3,77 kPa. Przy aktywności wody 0,65 maltodekstryna i mleko w proszku osiągnęły wyższe wartości odkształcenia względnego. Nie można ustalić jednoznacznego wpływu aktywności wody materiału na wartości odkształcenia względnego.



**Tabela 2.** Odształcenie względne dla różnych aktywności wody i wartości naprężenia ściskającego badanych składników napoju kakaowego w proszku**Table 2.** Water activity and compressive stress of powdered instant cocoa ingredients effects on relative strain

Aktywność wody Water activity	Naprężenie ściskające – Compressive stress (kPa)		
	2,20	3,77	5,34
	Cukier kryształ – Crystal sugar		
0,01	0,018	0,202	0,177
0,34	0,016	0,193	0,171
0,65	0,0197	0,223	0,194
	Maltodekstryna – Maltodextrin		
Aktywność wody Water activity	2,20	3,77	5,34
0,01	0,041	0,077	0,097
0,34	0,073	0,066	0,082
0,65	0,113	0,158	0,1804
	Kakao – Cocoa		
Aktywność wody Water activity	2,20	3,77	5,34
0,01	0,116	0,145	0,174
0,34	0,210	0,223	0,214
0,65	0,187	0,254	0,273
	Mleko w proszku – Milk powder		
Aktywność wody Water activity	2,20	3,77	5,34
0,01	0,157	0,191	0,278
0,34	0,111	0,108	0,123
0,65	0,131	0,221	0,239

## WNIOSKI

1. Wielkość cząstek badanych składników napoju kakaowego w proszku ma wpływ na odształcenie rzeczywiste. Cukier kryształ jako materiał o największych cząstkach cechował się najmniejszymi wartościami odształcenia względnego. Kakao i mleko w proszku, charakteryzujące się mniejszymi cząstkami osiągnęły większe wartości odształcenia względnego, co wskazuje na ich niższą wytrzymałość.

2. Podwyższenie aktywności wody z około 0,34 do 0,65 spowodowało wzrost wielkości odształcenia względnego dla większości badanych składników. Natomiast przy aktywności wody bliskiej zera wskaźnik ten uległ zwiększeniu dla

większości analizowanych proszków w porównaniu z wartościami przy aktywności wody około 0,3.

3. Aktywność wody składników napoju kakaowego w proszku ma wpływ na wielkość ich odkształcenia względnego. Podwyższenie aktywności wody z bliskiej zera do 0,6 spowodowało wzrost wartości odkształcenia względnego przy wszystkich poziomach naprężenia ściskającego dla większości badanych składników.

#### PIŚMIENNICTWO

- Beckett S., Quinarini G., 1997. The design, construction and testing of a device for mixing chocolate powder into water or milk. *Engineering & Food at ICEF 7*, part 2, SI,1-5.
- Boonyai P., Howes T., Bhandari B., 2007. Instrumentation and testing of athermal mechanical compression test for glass-rubber transition analysis of food powders. *Journal of food engineering*, 78, 1333-1342.
- De Freitas Eduardo Merica i Da Silva Lannes Suzana Caetano, 2007. Use of texture analysis to determine compaction force of powders. *Journal of Food Engineering*, 80, 568-572.
- Dolan K. M., Hades M., Hughes D., Leavell K., Swaine R., 1996. Dry chocolate-flavored beverage mix. Patent Cooperation Treaty WO 96/34535.
- Domian E., 1997. *Studia nad właściwościami sorpcyjnymi mieszanin proszków spożywczych*. Praca doktorska, KI i MPS, SGGW, Warszawa.
- Fitzpatrick J.J., Iqbal T., Deloey C., Twomey T., Keogh M.K., 2004. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. *Journal of Food Engineering*, 64, 435-444.
- Horabik J., 2004. Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesie składowania. *Monografia, Acta Agrophysica*, 54.
- Horabik J. Grochowicz M., 2002. Strength characteristics and dilatation of food powders. *International Agrophysica*, 16, 183-189.
- Ostrowska-Ligęza E., 2001. *Studia nad wpływem aktywności wody napoju kakaowego w proszku na jego właściwości sorpcyjne i mechaniczne*. Praca doktorska, KI i MPS, SGGW, Warszawa.
- Ostrowska-Ligęza E., Lenart A., 1998. Właściwości mechaniczne cukru kryształu i cukru pudru. *Materiały konferencyjne, VIII Konferencja Naukowo - Techniczna Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego, Białystok*, 349-356.
- Peleg M., Moreyra R., Scoville E., 1982. Rheological characteristics of food powders. *Food Process Engineering, AIChE Symposium Series*, 78, 138-143.
- Pierrat P., Agrawal D., Caram H., 1998. Effect of moisture on the yield locus of granular materials: theory of shift, *Powder Technology*, 99, 220-227.
- Rahim A., Al-Zahrani A., 2000. Particle size distribution in a continuous gas-solid fluidized bed. *Powder Technology*, 107, 54-59.
- Raji A. O., Favier J. F., 2004. Model for the deformation in agricultural and food particulate materials under bulk compressive loading using discrete element method. I: Theory, model development and validation. *Journal of Food Engineering*, 64, 359-371.
- Schubert H., 1990. Instantisieren pulverformiger. *Lebensmittel. Chem. Ing. Tech.*, 62, 892-906.
- Teunou E., Fitzpatrick J., Synnott E., 1999. Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39, 31-37.
- Teunou E., Fitzpatrick J., 2000. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 43, 97-101.

- Ververde J., Ramos A., Castellanos A., Watson P.K., 1998. The tensile strength of cohesive powders and its relationship to consolidation, free volume and cohesivity. *Powder Technology*, 97, 237-245.
- Xiaoxun Ma, Kunio Kato, 1998. Effect of interparticle adhesion forces on elutriation of fine powders from a fluidized bed of binary particle mixture. *Powder Technology*, 95, 98-101.
- Zhou T., Li H., 1999. Estimation of agglomerate size for cohesive particles during fluidization. *Powder Technology*, 101, 57-62.

## INFLUENCE OF WATER ACTIVITY AND COMPRESSIVE STRESS ON STRAIN OF SELECTED INGREDIENTS OF INSTANT COCOA

*Ewa Ostrowska-Ligeża, Andrzej Lenart*

Department of Chemistry, Division of Food Chemistry  
Department of Food Engineering and Process Management  
Warsaw University of Life Science  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_ostrowska\_ligeza@sggw.pl

**Abstract.** The purpose of the research was analysis of instant cocoa ingredients and water activity influence on relative strain. The materials were powders: crystal sugar, cocoa, milk and maltodextrin. Compression test was done for three levels of compressive stress (2.20, 3.77 and 5.34 kPa) at three levels of water activity (0.01, 0.34 and 0.65). Analyses of general properties were performed: particle size distribution, shaken and bulk density and flowability. Particle size distribution and water activity of powdered instant cocoa ingredients have an influence on their relative strain.

**Keywords:** powdered cocoa drink, water activity, relative strain