

## WPLYW AKTYWNOŚCI WODY NA CHARAKTERYSTYKĘ MECHANICZNĄ PŁATKÓW OWSIANYCH W MASIE

*Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek, Marek Maniewski*

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,  
Wydział Nauk o Żywności, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_jakubczyk@sggw.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu aktywności wody na właściwości mechaniczne płatków owsianych badanych w masie. Płatki owsiane doprowadzano do założonych aktywności wody ( $a_w$ ), poprzez przechowywanie ich w higrostatach o  $a_w$  w zakresie od 0 do 1. Właściwości mechaniczne badano w masie, ściskając złoże materiału do 50% początkowej jego wysokości. Określono zależności między aktywnością wody, a parametrami mechanicznymi: siłą przy odkształceniu 20 i 50%, pracą ściskania oraz modułem odkształcalności. Wyniki badań wskazują, iż badanie płatków w masie pozwala ocenić właściwości mechaniczne przy małym zróżnicowaniu mierzonego parametru. Aktywność wody istotnie wpływa na właściwości mechaniczne płatków owsianych. W zakresie aktywności wody od 0,025 do 0,105 obserwowano efekt utwardzania materiału wywołanego sorpcją wody. Dla aktywności wody powyżej 0,105 obserwowano plastyfikujący wpływ wody na płatki owsiane.

Słowa kluczowe: płatki owsiane, tekstura, właściwości w masie

### WSTĘP

Przetwory zbożowe wyprodukowane na bazie owsa stanowią cenne źródło wielu składników odżywczych: rozpuszczalnego błonnika, który jest niezbędny w diecie obniżającej poziom cholesterolu, witaminy E, witamin z grupy B oraz beta-glukanów, zawierają przy tym mniej skrobi niż inne zboża (Gąsiorowski i Urbanowicz 1992). Jednocześnie owies jest zbożem o niskiej alergenicności, dlatego może być włączony do diety większości pacjentów chorych na celiakię (Gates i in. 2008).

Właściwości mechaniczne wskazują na istotny wpływ łamliwości na ocenę tekstury produktów zbożowych (Gates i in. 2004). Płatki powinny zachować swą integralność

w mieszance muesli, gdyż rozdrobnione cząstki i mąka osiadające na dnie opakowania są czynnikiem obniżającym jakość produktu w oczach konsumentów. Płatki owsiane powinny mieć, zatem wytrzymałość mechaniczną zapewniającą zachowanie ich struktury podczas transportu i przechowywania. Jednocześnie muszą być wystarczająco miękkie, aby po zalaniu ich mlekiem nadawały się do zjedzenia (Kälviäinen i in. 2002). Konsumenti będą sięgać po przetwory zbożowe z owsa tylko wtedy, gdy będą one atrakcyjne nie tylko ze względów żywieniowych, ale sensorycznych, a szczególnie teksturalnych (Gates i in. 2008).

Badaniom właściwości mechanicznych poddaje się najczęściej pojedyncze produkty, które często różnią się wielkością i kształtem. Aby zapewnić standardowe warunki przeprowadzenia eksperymentów konieczna jest często regulacja wymiarów materiałów np. poprzez cięcie, co wpływa na ich strukturę (Sandoval i in. 2008). Przy analizie właściwości mechanicznych produktów zbożowych badanych pojedynczo wielu autorów obserwowało małą powtarzalność pomiarów i trudność interpretacji uzyskanych wyników. Kim i Okos (1999) analizowali właściwości mechaniczne krakersów wykorzystując trójpunktowy test zginania, zaś Marzec i Lewicki (2006) stosowali jednoosiowe testy ściskania do oceny pieczywa chrupkiego. Stwierdzili oni, że zmienność wyznaczonych parametrów mechanicznych była duża.

W przypadku niektórych materiałów, badanie ich w masie jest ściśle powiązane ze sposobem, w jaki materiał pęka podczas gryzienia. Dodatkowo badanie właściwości mechanicznych w złożu jest zalecane w przypadku produktów o bardzo małych wymiarach i zróżnicowanym kształcie (Sandoval i in. 2008). Jednak przeprowadzanie testów ściskania materiałów w masie wpływa na uśrednianie krzywych ściskania oraz występowanie efektu amortyzacji, co pociąga za sobą utratę niektórych informacji o właściwościach mechanicznych produktu (Nixon i Peleg 1995). Płatki owsiane są pakowane, transportowane i spożywane w masie, zatem ocena ich tekstury w złożu jest wysoce uzasadniona.

Istotnym czynnikiem determinującym jakość przetworów zbożowych jest obecność wody. Wzrost aktywności wody może powodować utwardzenie materiału lub jego mięknienie i utratę sżywności (Lewicki 2004). Znajomość progowej aktywności wody, przy której dochodzi do niekorzystnych zmian tekstury przetworów zbożowych jest niezbędna w kontroli i zachowaniu ich jakości.

Celem pracy było określenie wpływu aktywności wody na właściwości mechaniczne płatków owsianych badanych w masie.

## MATERIAŁY I METODY

Materiał badawczy stanowiły płatki owsiane firmy Kupiec. Płatki doprowadzano do założonych aktywności wody, poprzez przechowywanie ich w higrosta-

tach w temperaturze  $25 \pm 1,5^\circ\text{C}$ . Jako czynniki higrostatyczne zastosowano bezwodny  $\text{CaCl}_2$  ( $a_w = 0,000$ ), wodę ( $a_w = 1,000$ ) oraz nasycone roztwory soli  $\text{LiCl}$  ( $a_w = 0,113$ ),  $\text{CH}_3\text{COOK}$  ( $a_w = 0,225$ ),  $\text{MgCl}_2$  ( $a_w = 0,329$ ),  $\text{K}_2\text{CO}_3$  ( $a_w = 0,423$ ),  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  ( $a_w = 0,529$ ). W materiale po 3 miesiącach przechowywania (z wyjątkiem higrostatu z wodą – po 3 dobach) mierzono aktywność wody za pomocą higrometru Rotronic Hygroskop DT o dokładności  $\pm 0,001$ .

Właściwości mechaniczne w masie badano, wypełniając płatkami cylinder o średnicy 30 mm i wysokości 60 mm a następnie złoże ścisłano z prędkością  $50 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  w maszynie wytrzymałościowej Zwick 1445 (Zwick GmbH) za pomocą tłoka o średnicy 29 mm. Materiał ścisłano do 50% początkowej wysokości złoże. Masa odkształcanej próbki w złoże wynosiła od 17,1 od do 18,4 g. Rejestrowano zmiany siły w czasie z dokładnością  $\pm 0,1 \text{ N}$ . Wykonano 15 powtórzeń testu ścisłania dla każdej wartości aktywności wody produktu.

Odształcenie względne próbki  $\varepsilon_o$  obliczono ze wzoru:

$$\varepsilon_o = \frac{v \cdot \tau}{L} \quad (1)$$

gdzie:  $L$  – wysokość złoże przed ściśnięciem (m),  $v$  – prędkość przemieszczenia tłoka ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\tau$  – czas (s).

Odształcenie próbki rzeczywiste  $\varepsilon$  obliczono ze wzoru:

$$\varepsilon = -\ln(1 - \varepsilon_o) \quad (2)$$

Napężenie  $\sigma$  wyznaczono jako:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3)$$

gdzie:  $F$  – siła (N),  $S$  – pole przekroju tłoka ( $\text{m}^2$ ).

Pracę ścisłania ( $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ ) obliczono jako pole pod krzywą w układzie siła-czas pomnożone przez prędkość przesuwu głowicy i odniesione do masy materiału w złoże.

Moduł odkształcalności  $E$  określono jako:

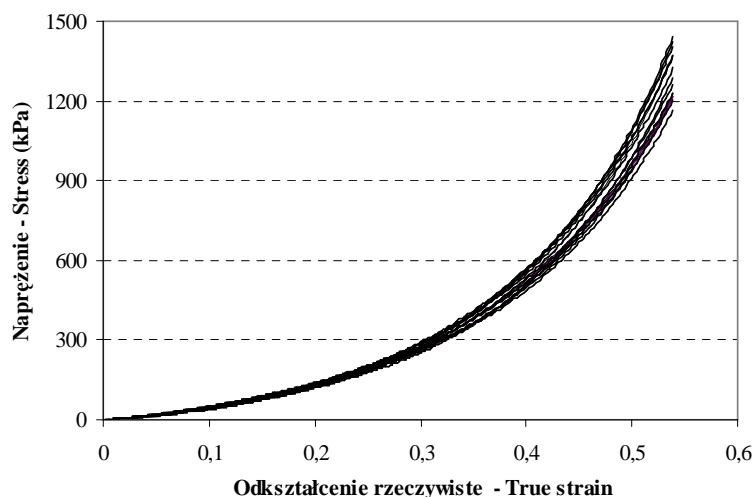
$$E = \left( \frac{dF}{dt} \right) \cdot \left( \frac{L}{v \cdot S} \right) \quad (4)$$

gdzie:  $dF/dt$  – nachylenie prostoliniowego odcinka krzywej siła-czas.

Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  przy pomocy programu Statgraphics Plus 4.1.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki testu ściskania płatków owsianych w masie wskazują na niewielkie zróżnicowanie poszczególnych powtórzeń. Rysunek 1 przedstawia 15 krzywych ściskania płatków o aktywności wody 0,225, dla których współczynnik zmienności naprężenia maksymalnego (końcowego) osiągał najniższą wartość 4,7%. Dla pozostałych aktywności wody współczynnik zmienności charakteryzujący rozkład badanej cechy, wynosił od 7,5 do 9,3% z wyjątkiem płatków o  $a_w = 0,105$ , których zmienność naprężeń sięgała 14,5%. Badając właściwości pojedynczych materiałów powtarzalność wyników jest mniejsza. Kim i Okos (1999) przeprowadzając test łamania pojedynczych krakersów, uzyskali parametry mechaniczne, których współczynnik zmienności wynosił od 12,8% do 47,8%. Badania wielu autorów wskazują, iż w przypadku niektórych produktów takich jak, płatki śniadaniowe i chrupki właściwości pojedynczych cząstek można określić na podstawie wyników ich badań w masie (Nuebel i Peleg 1993, Suwonsichon i in. 1997).

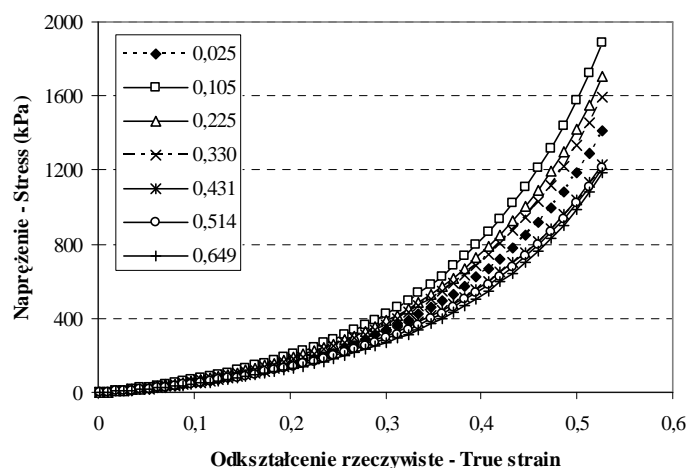


**Rys. 1.** Krzywe ściskania płatków owsianych o  $a_w = 0,225$  w 15 powtórzeniach

**Fig. 1.** Compression curves of oat flakes at  $a_w = 0.225$  for 15 replications

Krzywe w układzie naprężenie-odkształcenie charakteryzują zachowanie materiału podczas ściskania w masie. Na rysunku 2 przedstawiono uśredniony obraz krzywych ściskania płatków o różnej aktywności wody. Krzywe uzyskane podczas ściskania płatków owsianych są wklęsłe w odróżnieniu od krzywych otrzymanych podczas ściskania płatków kukurydzianych (Gondek i Lewicki 2006), czy innych suchych produktów zbożowych (Peleg 1997). Nieco inny kształt krzywych wynikać może z ścisłego upakowania materiału w cylindrze, dzięki czemu

wstępny etap ściskania (związany z usuwaniem powietrza z wolnych przestrzeni) jest krótszy. Jednocześnie nie obserwowano postrzępienia krzywych, które jest charakterystyczne dla materiałów chrupkich. Gładkie krzywe mogą być wynikiem badania ich w masie (Nixon i Peleg 1995). Gates i in. (2004) przeprowadzając badania pojedynczych płatków owsianych uzyskali postrzępione krzywe siła-odkształcenie przy niskiej aktywności wody 0,115, i wygładzone przy  $a_w = 0,848$ .



**Rys. 2.** Wpływ aktywności wody na przebieg krzywych ściskania płatków owsianych  
**Fig. 2.** Effect of water activity on compression curves of oat flakes

**Tabela 1.** Wpływ aktywności wody na siłę uzyskaną przy 20 i 50% odkształceniu podczas testu ściskania płatków owsianych w masie

**Table 1.** Effect of water activity on force at 20 and 50% of deformation during compression test of oat flakes in bulk

Aktywność wody Water activity	Siła (N) przy $\epsilon_0 = 0,2$ Force at $\epsilon_0 = 0.2$	Siła (N) przy $\epsilon_0 = 0,5$ Force at $\epsilon_0 = 0.5$
0,025	93,4 <sup>a</sup>	765,6 <sup>a</sup>
0,105	120,1 <sup>b</sup>	1016,0 <sup>b</sup>
0,225	109,4 <sup>c</sup>	919,6 <sup>bc</sup>
0,330	104,2 <sup>c</sup>	861,5 <sup>ac</sup>
0,431	88,5 <sup>ad</sup>	662,9 <sup>ad</sup>
0,514	82,6 <sup>de</sup>	651,0 <sup>d</sup>
0,649	76,4 <sup>e</sup>	637,9 <sup>d</sup>

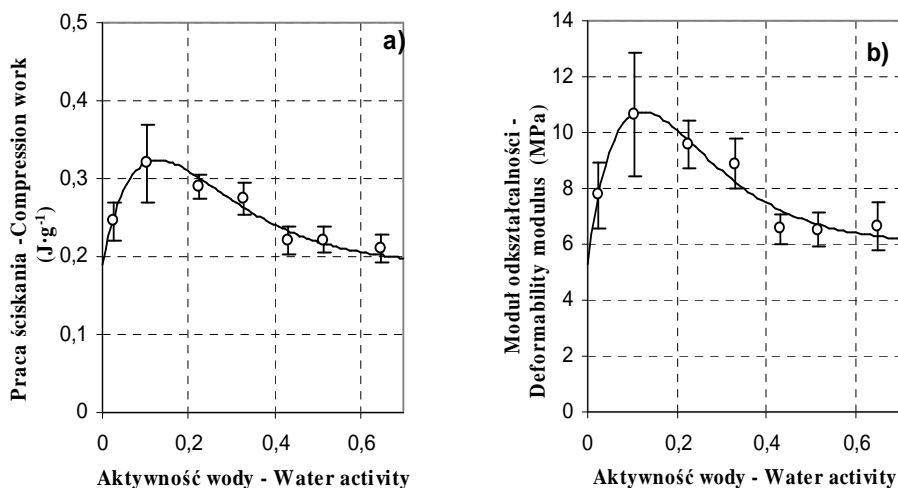
Wartości średnie oznaczone taką samą literą (w kolumnach) nie różnią się między sobą statystycznie istotnie przy  $\alpha = 0,05$  – Mean values followed by the same letter (vertically) do not differ significantly at  $\alpha = 0.05$ .

Najwyżej położona jest krzywa ściskania uzyskana dla płatków o aktywności wody 0,105, nieco mniejszą odpornością na odkształcenie charakteryzował się materiał o  $a_w = 0,255$  i 0,330. Płatki o aktywności wody 0,025, są materiałem suchym i prawdopodobnie kruchym, o czym świadczy niska odporność na ściskanie. Wzrost aktywności wody powyżej 0,330 wpływa na obniżenie naprężeń ściskających, co związane jest obecnością wody w materiale, która uplastycznia płatki.

Aktywność wody istotnie wpływa na sztywność materiału, którą niektórzy autorzy opisują za pomocą siły uzyskanej przy określonym poziomie odkształcenia (Wollny i Peleg 1994, Harris i Peleg 1996). W tabeli 1 przedstawiono wartości siły uzyskane przy odkształceniu względnym 0,2 i 0,5. Wartości sił uzyskane przy odkształceniu 0,2 są 6-8-krotnie mniejsze od uzyskanych przy 50% deformacji. Istotnie mniejsze wartości sił wynikają m.in. z sposobu przeprowadzenia testu ściskania. W pierwszym etapie testu w masie wartości sił są małe ze względu na przemieszczania cząstek i proces upakowywania materiału w cylindrze. Dla obu odkształceń obserwowano wzrost sztywności materiału w zakresie aktywności wody od 0,025 do 0,105. Dalszy wzrost zawartości wody w materiale pociąga za sobą obniżenie wartości siły potrzebnej do odkształcenia materiału. Gates i in. (2004) badali właściwości mechaniczne pojedynczych płatków w zależności od ich grubości i aktywności wody. Wykorzystując test penetracji mierzyli siłę konieczną do pęknięcia materiału. Grube płatki przy niskiej aktywności wody charakteryzowały się największymi wartościami siły niszczącej, wraz ze wzrostem zawartości wody w płatkach stawały się one plastyczne, ciągliwe a w końcu miękkie i gumiate.

Badano również wpływ aktywności wody na pracę ściskania, której wartości początkowo zwiększają się wraz ze wzrostem aktywności wody osiągając maksimum dla  $a_w = 0,105$  (rys. 3a). Zwiększenie zawartości wody w płatkach wpływa na wzrost ich twardości, zjawisko to określane jest mianem utwardzania. Efekt antyplastyfikujący prowadzący do wzrostu twardości materiału wraz ze wzrostem aktywności wody obserwowano m.in. dla pieczywa chrupkiego w zakresie  $a_w$  0-0,6 (Marzec i Lewicki 2006), ciastek ryżowych dla  $a_w = 0,5$  (Hsieh i in. 1990), czy płatków kukurydzianych w zakresie  $a_w$  0-0,65 (Gondek i Lewicki 2006). Powyżej aktywności wody 0,105 obserwowano obniżenie pracy ściskania, co wskazuje na uplastycznienie materiału.

Moduł odkształcalności określono na podstawie nachylenia prostoliniowego odcinka krzywej siła-czas. Charakterystyka przebiegu zależności modułu odkształcalności od aktywności wody (rys. 3b) była zbliżona do obserwowanej dla pracy ściskania (rys. 3a). Największą wartość parametru uzyskano dla  $a_w = 0,105$ . Istotne zmiany modułu odkształcalności obserwowano przy wzroście aktywności od 0,330 do 0,431.



**Rys. 3.** Wpływ aktywności wody na pracę ściskania (a) i moduł odkształcalności (b) płatków owsianych  
**Fig. 3.** Effect of water activity on compression work (a) and deformability modulus (b) of oats flakes

Analiza statystyczna wskazywała na brak różnic między wartościami modułu odkształcalności dla aktywności wody w zakresie 0,431-0,649. Gwałtowne obniżenie wytrzymałości na pękanie płatków owsianych badanych pojedynczo, obserwowali Gates i in. (2004) przy aktywności wody  $\sim 0,4$ . Wyniki ich badań wskazują również, że utwardzanie obserwowano jedynie dla cienkich płatków owsianych, natomiast materiał o grubości powyżej 0,85 mm ulegał uplastycznieniu w całym badanym zakresie  $a_w$  od 0,1 do 0,85.

#### WNIOSKI

1. Badanie produktów zbożowych takich jak, płatki owsiane w masie jest metodą pozwalającą ocenić właściwości mechaniczne przy wysokiej powtarzalności wyników w próbie. Współczynnik zmienności parametrów mechanicznych nie przekraczał 14,5%.

2. Krzywe ściskania są gładkie, brak postrzępienia nie jest wskaźnikiem utraty kruchości, ale wynika ze sposobu przeprowadzenia badania w masie.

3. Aktywność wody istotnie wpływa na właściwości mechaniczne. Analiza parametrów mechanicznych: siły przy odkształceniu 0,2 i 0,5 oraz pracy ściskania i modułu odkształcalności wskazują na występowanie początkowego efektu utwardzania wywołanego sorpcją wody. Wzrost aktywności wody powyżej 0,105 powoduje plastyfikację płatków i ich mięknięcie.

4. Analiza statystyczna wskazywała na istotne różnice pracy ściskania i modułu odkształcalności w zakresie aktywności wody 0,330-0,431.

#### PIŚMIENNICTWO

- Gates F.K., Dobraszczyk B.J., Salovaara H., 2004. Influence of some processing and storage conditions on the mechanical properties of oat flakes. *Transactions of the ASAE*, 47(1), 223-226.
- Gates F.K., Sontag-Strohm T., Stoddard F.L., Dobraszczyk B.J., Salovaara H., 2008. Interaction of heat-moisture conditions and physical properties in oat processing: II. Flake quality. *Journal of Cereal Science*, 48, 288-293.
- Gąsiorowski H., Urbanowicz M., 1992. Owies – roślina XXI wieku. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*. 36(5), 18-19.
- Gondek E., Lewicki P.P., 2006. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part II: Breakfast cereals. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 644-652.
- Harris M., Peleg M., 1996. Patterns of textural changes in brittle cellular cereal foods caused by moisture sorption. *Cereal Chemistry*, 73(2), 225-231.
- Hsieh F., Hu, L., Huff, H.E., Peng I.C., 1990. Effects of water activity on textural characteristics of puffed rice cake. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 23(6), 471-473.
- Kälviäinen N., Salovaara H., Tuorila H., 2002. Sensory attributes and preference mapping of muesli oat flakes. *Journal of Food Science*, 67(1), 455-460.
- Kim M.H., Okos M.R., 1999. Some physical, mechanical and transport properties of crackers related to the checking phenomenon. *Journal of Food Engineering*. 40, 189-198
- Lewicki P.P., 2004. Water as determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*. 61, 483-495.
- Marzec A., Lewicki P.P., 2006. Antiplasticization of cereal-based products by water. Part I. Extruded flat bread. *Journal of Food Engineering*, 73, 1-8.
- Nixon, R., Peleg, M., 1995. Effect of sample volume on the compressive force-deformation curves of corn flakes tested in bulk. *Journal of Texture Studies*, 26, 59-69.
- Nuebel C., Peleg M., 1993. Compressive stress-strain relationships of two puffed cereals in bulk. *Journal of Food Science*. 58(6), 1356-1360, 1374.
- Peleg M., 1997. Mechanical properties of dry cellular solid foods. *Food Science and Technology International*, 3, 227-240.
- Sandoval A.J., Chaunier L., Courcoux P., Della Valle G., 2008. Bulk mechanical behavior of commercial particle food foams. *Journal of Texture Studies*, 39, 405-425.
- Suwonsichon T., Normand M.D., Peleg M., 1997. Estimation of the mechanical properties of individual brittle particles from their bulk compressibility. *Journal Texture Studies*, 28(6), 673-686.
- Wollny M., Peleg M., 1994. A model of moisture-induced plasticization of crunchy snacks based on Fermi's distribution function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 64(4), 467-473.



EFFECT OF WATER ACTIVITY ON BULK MECHANICAL BEHAVIOUR  
OF OAT FLAKES

*Ewa Jakubczyk, Ewa Gondek, Marek Maniewski*

Department of Food Engineering and Process Management,  
Faculty of Food Sciences, SGGW  
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa  
e-mail: ewa\_jakubczyk@sggw.pl

**Abstract.** Oat flakes were adjusted to assumed water activity levels by storing samples in hygrostats at water activity in the range of 0-1. Determinations of mechanical properties were carried out by compression in bulk, deformation of initial height of bed was equal 50%. The relationship between water activity and the mechanical parameters: force at strain of 0.2 and 0.5, compression work and deformability modulus was determined. The results showed that testing oat flakes as bulk enables to evaluate their mechanical properties with low variation of the measured parameter. Influence of water activity on the mechanical properties of oat flakes was significant. The hardening effect of material was observed in the range of water activity of 0-0.105. Above water activity of 0.105 plasticizing effect of water on oat flakes was observed.

**Key words:** oat flakes, texture, bulk properties