

## WPŁYW SIŁ ŚCINAJĄCYCH NA WŁAŚCIWOŚCI TEKSTURALNE ŻELI INULINOWYCH\*

*Paweł Glibowski, Agnieszka Gałązka*

Zakład Technologii Mleka i Hydrokoloidów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin  
e-mail: glibowskipawel@wp.pl

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie wpływu sił ścinających na teksturę żeli inulinowych przygotowanych w różnych temperaturach. Zastosowano dwa poziomy temperatur roztwarzania, 20 i 40°C, różne czasy homogenizacji, a także częstości obrotów wirnika homogenizatora skutkujących zmianą sił ścinających oraz dokonano statystycznej analizy tekstury porównując otrzymane wyniki z próbkami niehomogenizowanymi. W pracy wykazano, że temperatura rozpuszczania preparatu nie ma wyraźnego wpływu na twardość żeli inulinowych. Nie stwierdzono widocznego wpływu czasu homogenizacji roztworów inulinowych, jak i prędkości obrotów na twardość żeli inulinowych. Nie stwierdzono również istotnego ( $p \leq 0,05$ ) wpływu czasu homogenizacji i prędkości obrotów na adhezyjność i kohezyjność powstałych żeli. Wartości adhezyjności, jak i kohezyjności dla żeli przygotowanych w temperaturze 20°C i 40°C nie różnią się istotnie. Brak jednoznacznych tendencji w wynikach oznaczeń tekstury potwierdzono stosując technikę mikroskopii. Cząstki tworzące żele inulinowe bez względu na temperaturę przygotowania próbki jak i obroty homogenizatora charakteryzowały się podobnymi średnicami, co tłumaczy właściwości teksturalne.

**Słowa kluczowe:** inulina, żele indukowane ścinaniem, tekstura, temperatura

### WSTĘP

Inulina jest zapasowym oligosacharydem złożonym z 22-50 cząsteczek fruktozy połączonych wiązaniami  $\beta$ -(2-1) i przyłączonej do jednego z końców jednej cząsteczki glukozy (Niness 1999). Cukier ten występuje w wielu roślinach, a najobficiej w korzeniach cykorii, bulwach topinamburu, dalii a także w bananach czy cebuli. Inulina wykorzystywana jest jako zamiennik tłuszczu w wielu produktach spożywczych.

---

\*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy.

czych takich jak ciastka, czekolady, produkty mleczne i margaryny (Kim i in. 2001, Roberfroid i in. 1998). Właściwości tłuszczonaśladowcze inuliny wynikają ze stabilizacji struktury w roztworach wodnych, co przekłada się na odczucie kremowej konsystencji podczas konsumpcji (Blosma, 1997). Oprócz tych właściwości, inulina korzystnie wpływa na selektywny rozwój pozytywnie oddziaływujących na zdrowie człowieka bakterii zasiedlających okrężnicę (Gibson i Roberfroid 1995), a jej wartość kaloryczna jest niska ( $1,0-1,5 \text{ kcal}\cdot\text{g}^{-1}$ ) (Izzo i Franck 1998).

Inulina nie należy do łatwo rozpuszczających się w wodzie cukrów. W zależności od stopnia polimeryzacji w temperaturze otoczenia rozpuszcza się jej maksymalnie do 7,5% przy DP 10 (Anonim 2000, Bot i in. 2004), zaś przy wysokim stopniu polimeryzacji, DP powyżej 23, jest praktycznie nierozpuszczalna (Bielecka i in. 2002, Kim i in. 2001). Inulina tworzy żele przy minimalnym stężeniu 10-15%. Aby otrzymać żel inulinowy należy rozpuszczać inulinę przy podwyższonej temperaturze lub zastosować siły ścinające w celu jej roztworzenia (Kim i in. 2001).

Właściwości reologiczne żeli inulinowych zależą od wielu czynników, do których zaliczyć można stopień polimeryzacji, stężenie w roztworze czy temperaturę przygotowania roztworu (Florowska i in. 2004). Duży wpływ na teksturę powstałych żeli ma roztwarzanie w polu sił ścinających. Kim i in. (2001) analizując właściwości inuliny Raftaline HP stwierdzili, że w warunkach dużych sił ścinających powstają żele wykazujące się dużymi rozmiarami kryształów inuliny, słabszą siłą żelowania i mniej gładką teksturą, jednak w wykonanych badaniach zastosowano tylko jedną temperaturę oraz dwa gradienty prędkości.

Tworzenie zwięzłych żeli inulinowych po wcześniejszym rozpuszczeniu tego cukru w wodzie o wysokiej temperaturze (powyżej  $80^{\circ}\text{C}$ ) jest zahamowane (Kim i in. 2001). Wysoka temperatura powoduje bowiem rozpuszczenie zarodków krystalicznych inuliny, a w efekcie brak krystalizacji oraz niemożność wytworzenia struktury żelowej (Bot i in. 2004). Zastosowanie sił ścinających w temperaturach nieprzekraczających  $60^{\circ}\text{C}$  daje więc potencjalną możliwość stworzenia stabilnych żeli inulinowych. Ponieważ ilość dostępnych danych na temat wpływu sił ścinających na właściwości reologiczne żeli inulinowych ma charakter śladowy celem pracy było określenie wpływu sił ścinających na teksturę żeli inulinowych przygotowanych w różnych temperaturach.

## MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano inulinę o nazwie handlowej Frutafit TEX! uzyskaną z korzenia cykorii o  $\text{DP}\geq 23$  (Sensus, Holandia). Roztwory inuliny o stężeniu 20% sporządzono przez zmieszanie inuliny z wodą destylowaną o temperaturze 20 lub  $40^{\circ}\text{C}$  przy użyciu mieszadła magnetycznego MS 11HS z kontrolą temperatury (Wigo, Piastów, Polska) aż do roztworzenia pozwalającego na pasaż zawiesiny

przez sito o oczkach o średnicy 0,2 mm. Tak przygotowane zawiesiny homogenizowano w homogenizatorze H 500 (Pol-EkoAparatura, Wodzisław Śląski, Polska) przez 1, 3, 5 i 10 min, z szybkością 8000, 10000, 14000 i 16000  $\text{min}^{-1}$ . Przygotowaną mieszaninę rozlewano do pojemników o średnicy 35 mm o pojemności 50  $\text{cm}^3$ , zamykano wieczkiem. Przetrzymano w temperaturze 4°C przez 24 godziny. Próbami odniesienia były układy niepoddane homogenizacji.

Badania tekstury obejmowały profilową analizę tekstury (TPA) wg modyfikacji Bonczar i in. (2002) w wyniku której uzyskano wyniki oznaczeń twardości, spójności i przylegalności. Analizy przeprowadzono przy użyciu TA-XT2i Texture Analyser (Stable Microsystems, Goaldming, Wielka Brytania) przez dwa sekwencyjne zanurzenia na głębokość 15 mm walca o średnicy 1 cm z prędkością 1  $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$  z siłą 0,98N przedzielone fazą relaksacyjną trwającą 30 s. Twardość definiowano jako siłę niezbędną do pierwszego zanurzenia się walca w próbkę, przylegalność wyrażona była jako iloczyn siły niezbędnej do wyciągnięcia walca z próbki i czasu tego wyciągania, zaś spójność wyznaczano jako stosunek powierzchni pod krzywą siła-czas powstałej podczas drugiego zanurzenia się walca w próbkę i powierzchni powstałej podczas pierwszego zanurzenia się walca w próbkę. Badania przeprowadzono tuż po przechowywaniu w temperaturze 4°C w 4 powtórzeniach w temperaturze pokojowej.

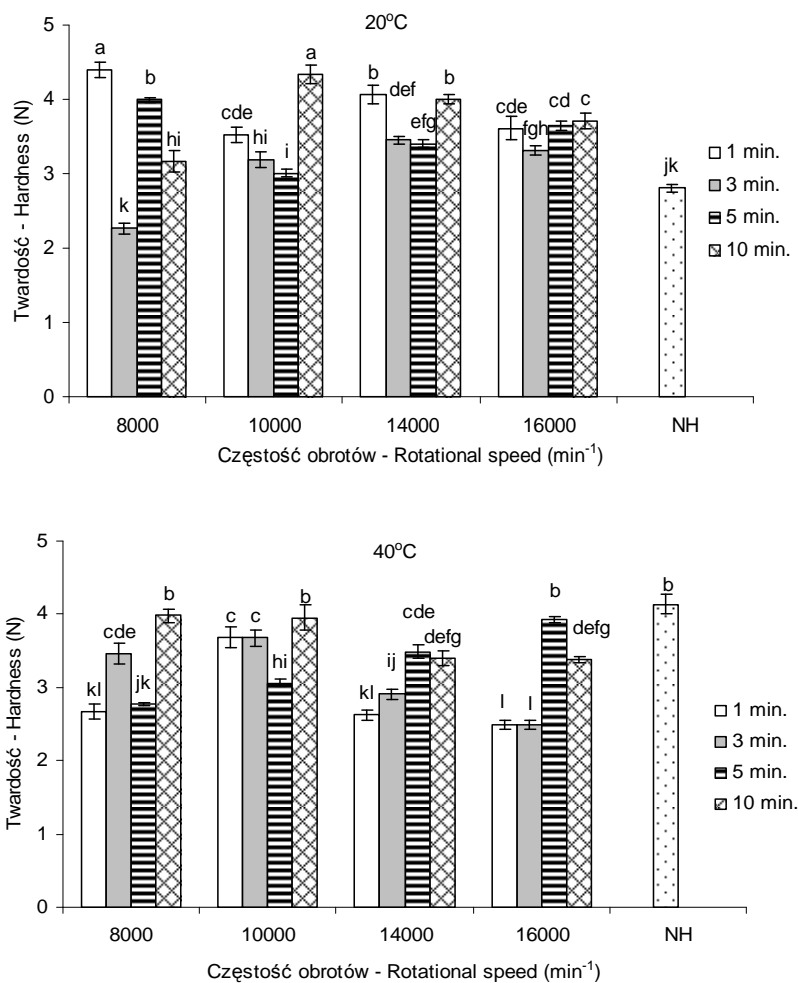
Zdjęcia mikroskopowe wykonane były przy użyciu mikroskopu Studar Z1, (PZO, Warszawa, Polska), wyposażonego w kamerę Escar, Elemis (Warszawa, Polska), rozdzielczość 480x640 pikseli, z zastosowaniem oprogramowania Winam Suite, ELSA AG (Aachen, Niemcy). Preparaty mikroskopowe przygotowywano poprzez wykonanie rozmazu przy użyciu wody destylowanej. Obrazy rejestrowano przy 1000-krotnym powiększeniu.

Obliczenia wartości średnich, odchylenia standardowego oraz analizę wariancji dokonano stosując procedurę ANOVA wykorzystując test rozstępu Studenta-Newmana-Keulsa. Analiz dokonano przy użyciu programu SAS Enterprise Guide 3.0.3.414.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki analizy wpływu sił ścinających na twardość żeli inulinowych ujawniły brak jednoznacznych tendencji. Bez względu na temperaturę w jakiej roztwarzano inulinę i homogenizowano próbki nie są widoczne wyraźne zależności pomiędzy czasem homogenizacji a częstością obrotów wirnika homogenizatora (rys. 1). Wartości twardości zawierają się w przedziale od 2,27 do 4,39 N bez względu na parametry homogenizacji. Żele inulinowe otrzymane poprzez roztworzenie inuliny z pominięciem etapu homogenizacji wykazywały skrajnie różne twardości na tle próbek homogenizowanych. Przy zastosowaniu temperatury 20°C wartości twar-

dości próbek niehomogenizowanych należały do jednych z najniższych, zaś przy zastosowaniu temperatury 40°C do jednych z najwyższych ( $p \leq 0,05$ ).



**Rys. 1.** Twardość żeli inulinowych w zależności od częstości obrotów, temperatury i czasu homogenizacji. NH oznacza próbkę niehomogenizowaną (a-l – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się w sposób statystycznie istotny przy  $p \leq 0,05$ )

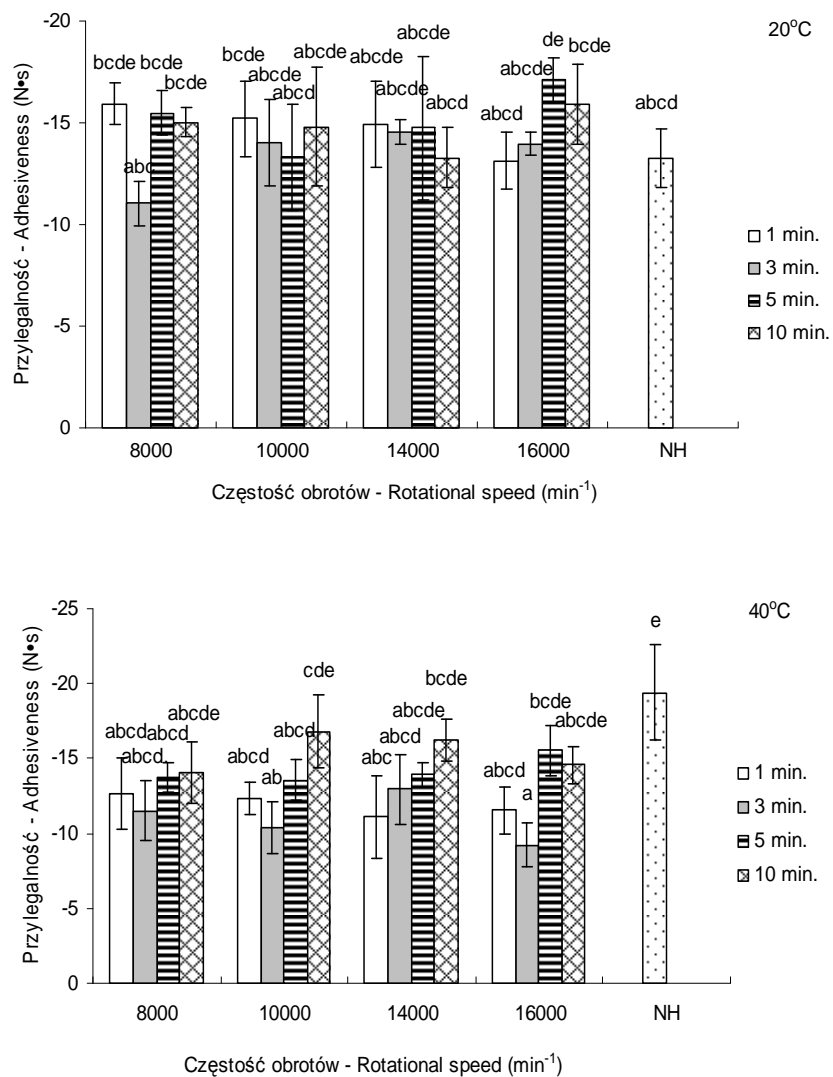
**Fig. 1.** Hardness of inulin gels in relation to rotational speed, homogenisation time and temperature. NH is the sample which was not homogenised (a-l – mean values designated by different letters are statistically significantly different at the level of  $p \leq 0.05$ )

Rysunek 2 przedstawia przylegalność żeli inulinowych w zależności od częstości obrotów, temperatury i czasu homogenizacji. Bez względu na zastosowaną temperaturę czy parametry homogenizacji różnice pomiędzy wartościami przylegalności dla większości kombinacji są nieistotne ( $p \leq 0,05$ ). Zastosowanie analizy TPA do badań właściwości teksturalnych układów, w których trzpień teksturometru zanurza się w badanej próbce (Bonczar i in. 2002) podobnie jak w pierwotnych założeniach tej techniki (Szcześnik 1963, Bourne 1978) oznacza, że im wartości przylegalności są bliższe zera tym gorszą przylegalnością wykazuje się układ (Glibowski 2007).

Podobnie jak w przypadku przylegalności czy twardości nie można stwierdzić jednoznacznych tendencji w kształtowaniu wartości spójności bez względu na zastosowaną temperaturę, czas czy częstość obrotów wirnika homogenizatora (rys. 3). Uzyskane wartości kohezji nie różnią się w sposób statystycznie istotny ( $p \leq 0,05$ ) pod względem spójności. W przypadku próbek zwięzłych wartości kohezji zbliżają się do zera, zaś próbki płynne po wyjściu trzpienia z analizowanego materiału odbudowują swoją strukturę co skutkuje wartościami zbliżonymi do jedności (Glibowski 2007). Otrzymane wyniki kohezji sugerują zwięzłą budowę otrzymanych żeli, co odpowiada ocenie wizualnej (dane nie zamieszczone).

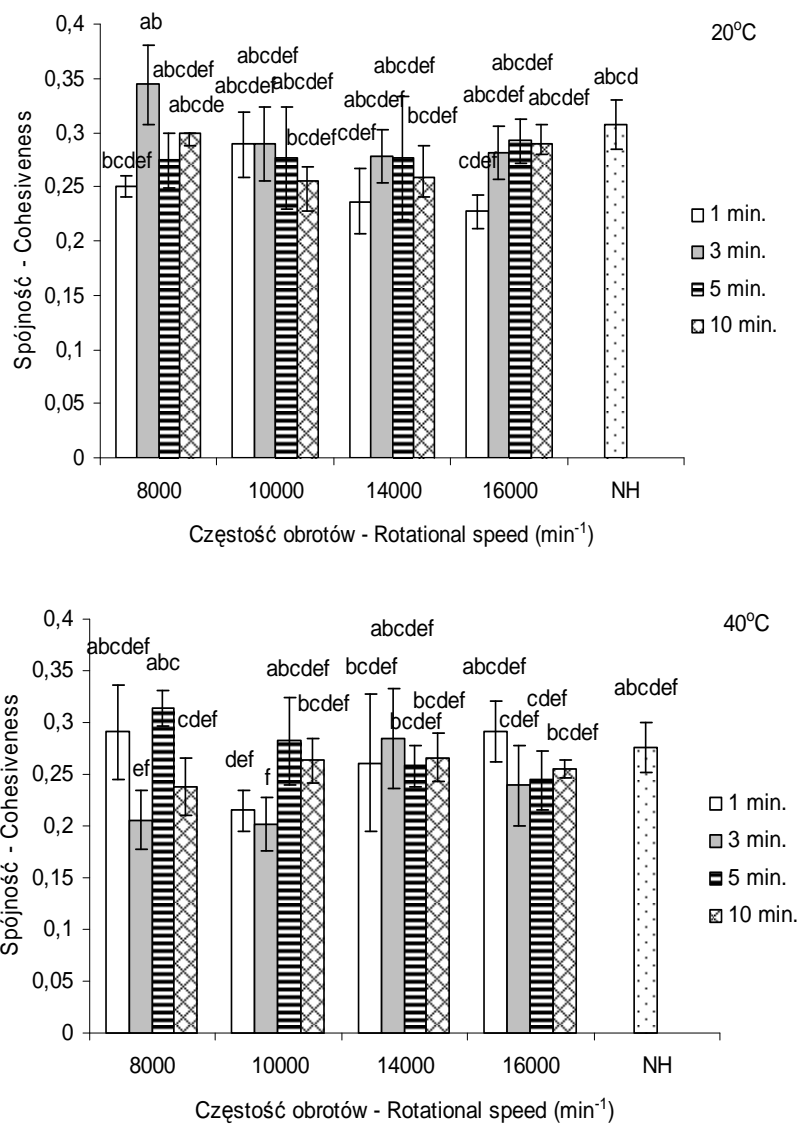
Potwierdzeniem braku jednoznacznych tendencji w wynikach oznaczeń tekstury są zdjęcia mikroskopowe (Fot. 1). Częstki tworzące żel inulinowy bez względu na temperaturę przygotowania próbki, jak i obroty homogenizatora charakteryzują się podobnymi rozmiarami, co tłumaczy właściwości teksturalne.

Kim i in. (2001) w badaniach nad żelowaniem inuliny porównywali tylko dwa rodzaje sił ścinających: małe, uzyskiwane podczas mieszania przy użyciu mieszadła magnetycznego i duże podczas homogenizacji. Autorzy ci wyższe twardości żeli uzyskali podczas homogenizacji. Prawdopodobną przyczyną powstałych różnic między wynikami Kim'a i in. (2001) a uzyskanymi w niniejszej pracy były różnice w przygotowaniu próbek. W przedstawionych badaniach etap homogenizacji poprzedzony był roztworzeniem proszku inulinowego przy użyciu mieszadła magnetycznego. Inulina łącząc się z wodą tworzy bowiem twarde, trudno rozpuszczalne grudki. Homogenizacja takiej mieszaniny była niemożliwa ze względu na wielkość powstałych grudek dlatego etap ten poprzedzono mieszaniem przy użyciu mieszadła magnetycznego do momentu uzyskania homogennej zawiesiny o średnicy cząstek nie większych jak 0,2 mm. Użycie mieszadła magnetycznego umożliwia bowiem całkowite roztwarzanie inuliny jednak kluczowy jest tutaj sposób rozpuszczania proszku inulinowego i czas mieszania. Homogenizacja powstałych w ten sposób zawiesin nie wpłynęła w sposób istotny na teksturę żeli ponieważ część inuliny uległa całkowitemu rozpuszczeniu, zaś pozostała część stanowiła jednorodną homogeniczną cząstkę, które podczas homogenizacji nie zmieniły swoich rozmiarów w sposób istotny.



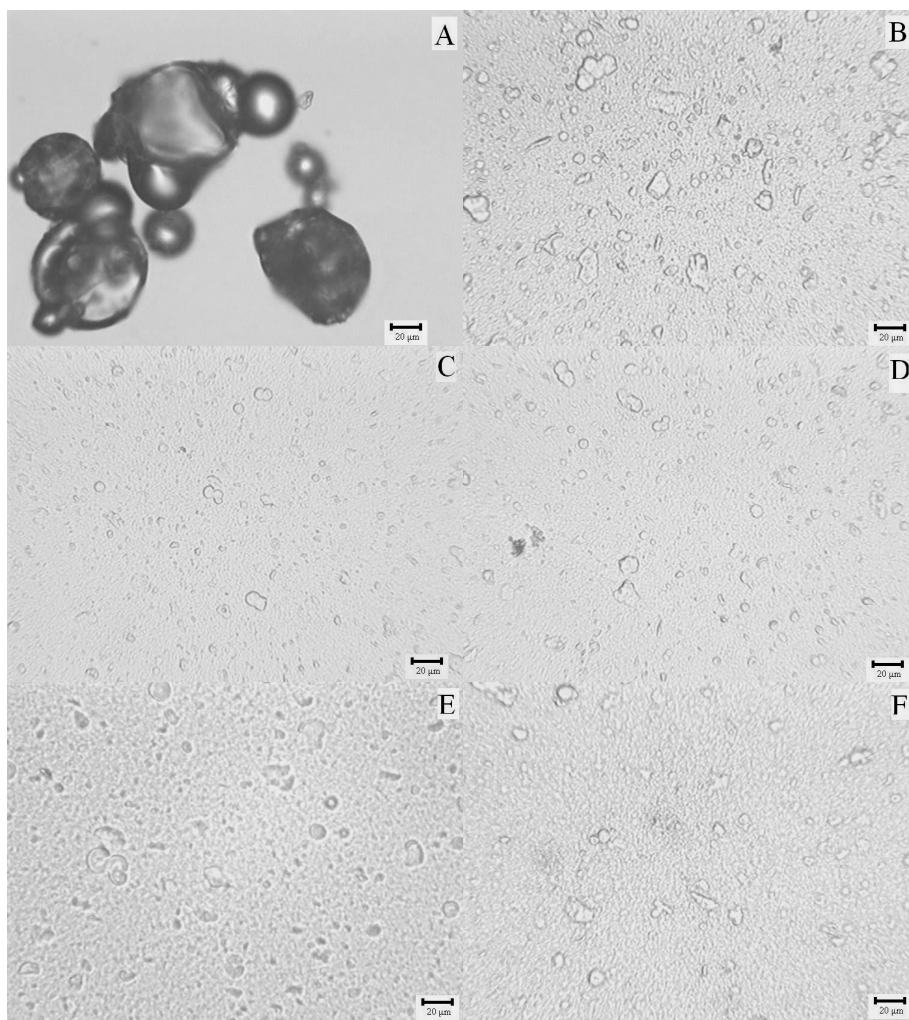
**Rys. 2.** Przyległość żeli inulinowych w zależności od częstości obrotów, temperatury i czasu homogenizacji. NH oznacza próbkę niehomogenizowaną (a-e – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się w sposób statystycznie istotny przy  $p \leq 0,05$ )

**Fig. 2.** Adhesiveness of inulin gels in relation to rotational speed, homogenisation time and temperature. NH is the sample which was not homogenised (a-e – mean values designated by different letters are statistically significantly different at the level of  $p \leq 0.05$ )



**Rys. 3.** Spójność żeli inulinowych w zależności od częstości obrotów, temperatury i czasu homogenizacji. NH oznacza próbkę niehomogenizowaną (a-f – wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się w sposób statystycznie istotny przy  $p \leq 0,05$ )

**Fig. 3.** Cohesiveness of inulin gels in relation to rotational speed, homogenisation time and temperature. NH is the sample which was not homogenised (a-f – mean values designated by different letters are statistically significantly different at the level of  $p \leq 0,05$ )



**Fot. 1.** Zdjęcia mikroskopowe (powiększenie 1000x) proszku inulinowego (A) oraz rozmazów żeli inulinowych: niehomogenizowanego (B), oraz otrzymanych po wcześniejszej homogenizacji przy różnej częstotliwości obrotów: C – 8000 min<sup>-1</sup>, 20°C, D – 16000 min<sup>-1</sup>, 20°C, E – 8000 min<sup>-1</sup>, 40°C, F – 16000 min<sup>-1</sup>, 40°C.

**Photo. 1.** Micrograph images (magnification 1000 x) of inulin powder (A) and diluted inulin gels: not homogenised (B), and obtained after homogenisation at different rotational speeds: C – 8000 min<sup>-1</sup>, 20°C, D – 16000 min<sup>-1</sup>, 20°C, E – 8000 min<sup>-1</sup>, 40°C, F – 16000 min<sup>-1</sup>, 40°C.

Właściwości teksturalne 20% żeli inulinowych wykazują podobieństwo do masel i margaryn (Glibowski 2007). Twardość otrzymanych żeli zbliżona była do twardości margaryn zawierających 20% tłuszczu. Powstałe żele wykazywały się przylegalnością zbliżoną do tej jaką wykazuje pełnotłuszczowa margaryna bądź masło, zaś spój-



nością zbliżone były do tej jaka cechuje margarynę zawierającą 80% tłuszczu (Glibowski 2007). Biorąc pod uwagę potencjał zdrowotny, jaki przypisuje się inulinie w licznych publikacjach rozpowszechnienie inuliny w wytwarzaniu produktów spożywczych przeznaczonych do smarowania pieczywa wydaje się warte rozważenia, zaś zastosowanie procesu homogenizacji w ciągu produkcyjnym nie powinno wpływać negatywnie na teksturę otrzymanych żeli.

### WNIOSKI

1. Zastosowany przedział temperatur przygotowania próbek nie wpływa istotnie ( $p \leq 0,05$ ) na różnice w twardości, przylegalności i spójności żeli inulinowych.
2. Czas homogenizacji i prędkość obrotów homogenizatora skutkujących zmianą sił ścinających nie wpływają istotnie ( $p \leq 0,05$ ) na badane cechy tekstury.
3. Właściwości teksturalne 20% żeli inulinowych wskazują na możliwość zastosowania ich w wytwarzaniu produktów spożywczych przeznaczonych do smarowania pieczywa.

### PIŚMIENNICTWO

- Anonim, 2000. Handbook of hydrocolloids. G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.). Frutafit® inulin (pp. 397-403). Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, England.
- Bielecka M., Biedrzycka E., Majkowska A., 2002. Selection of probiotics and prebiotics for synbiotics and confirmation of their in vivo effectiveness. Food Research International, 35, 125-131.
- Blosma C. A., 1997. Ingenicus. International Food Ingredients, 2, 22-23.
- Bonczar G., Wszolek M., Siuta A., 2002. The effects of certain factors on the properties of yoghurt made from ewe's milk. Food Chemistry, 79, 85-91.
- Bot A., Erle U., Vreeker R., Agterof W., 2004. Influence of crystallisation conditions on the large deformation rheology of inulin gels. Food Hydrocolloids, 18, 547-556.
- Bourne M.C., 1978. Texture profile analysis. Food Technology, 32(7), 62-66, 72.
- Florowska A., Budyta A., Krygier K., 2004. Powstawanie i właściwości żeli inulinowych. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość. 40, 3, 56-67.
- Gibson G.R., Roberfroid M.B., 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota – Introducing the concept of prebiotics. Journal of Nutrition, 125, 1401-1412.
- Glibowski P., 2007. Wpływ olejów roślinnych na teksturę bezwodnego tłuszczu mlecznego. Acta Agrophysica, 9(3), 603-612.
- Izzo M., Franck A., 1998. Nutritional and health benefits of inulin and oligofructose conference. Trends in Food Science and Technology, 9, 255-257.
- Kim Y., Faqih M.N., Wang S.S., 2001. Factors affecting gel formation of inulin. Carbohydrate Polymers, 46, 135-145.
- Niness K.R., 1999. Inulin and oligofructose: what are they? Journal of Nutrition, 129, 1402S-1406S.
- Roberfroid M.B., Van Loo J.A.E., Gibson G.R., 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. Journal of Nutrition, 128, 11-19.
- Szczęśniak A.S., 1963. Classification of textural characteristics. Journal of Food Science, 28, 385-389.

## EFFECT OF SHEAR FORCES ON TEXTURAL PROPERTIES OF INULIN GELS

*Paweł Glibowski, Agnieszka Gałązka*

Department of Milk Technology and Hydrocolloids, University of Life Science in Lublin  
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin  
e-mail: glibowskipawel@wp.pl

**Abstract.** The aim of this study was determination of the effect of shear forces and the preparation temperature on inulin gel texture. Two levels of temperature (20 and 40°C) and different homogenisation times and speeds influencing on shear forces were applied. The results of the texture data were statistically analysed and comparison with not homogenized samples was done. The results of this study show that dissolving temperature did not influence clearly the inulin gels texture. Effect of homogenisation time and speed of inulin solutions on hardness of inulin gels was not noticeable. No significant ( $p \leq 0.05$ ) influence of homogenisation time and speed on adhesiveness and cohesiveness of the obtained gels was observed. The results of adhesiveness and cohesiveness for the gels obtained at 20 and 40°C are not significantly different. The lack of unequivocal tendencies in the texture results was confirmed by light microscopy technique. The particles forming the inulin gels were characterised by similar diameters, irrespective of the temperature of sample preparation and of the homogeniser speed, which explains the textural properties.

**Keywords:** inulin, shear induced gels, temperature, texture