

WPLYW PARAMETRÓW EKSTRUZJI NA WYBRANE CECHY TEKSTURY MAKARONÓW BŁYSKAWICZNYCH Z SEMOLINY

Agnieszka Wójtowicz

Katedra Inżynierii Procesowej, Akademia Rolnicza
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: agnieszka.wojtowicz@ar.lublin.pl

Streszczenie. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki pomiarów wybranych cech tekstury makaronów błyskawicznych. Badaniom poddawano makarony ekstrudowane z semoliny o różnym nawilżeniu przy zastosowaniu zróżnicowanej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera podczas wytłaczania. Twardość określono na podstawie pomiarów siły cięcia makaronów surowych oraz poddanych hydratacji w gorącej wodzie, zaś jędrność przez oznaczenie pracy cięcia makaronów uwodnionych. Stwierdzono istotny wpływ zarówno nawilżenia semoliny, jak też parametrów wytłaczania na twardość oraz jędrność wyrobów makaronowych. Twardość makaronów surowych wynosiła od 7 do 27 N i zwiększała się wraz ze wzrostem wilgotności ciasta makaronowego oraz zwiększaniem prędkości obrotowej podczas ekstruzji. Twardość oraz jędrność wyrobów hydratyzowanych zmniejszały się w miarę wydłużania czasu hydratacji w gorącej wodzie. Najbardziej jędrną teksturą charakteryzowały się makarony o najwyższym wskaźniku skleikowania skrobi (88%) ekstrudowane z semoliny o wilgotności 32%.

Słowa kluczowe: ekstruzja, makaron błyskawiczny, semolina, tekstura, twardość, jędrność

WSTĘP

Istotnym wyróżnikiem jakościowym, ocenianym zarówno metodami instrumentalnymi, jak i sensorycznymi, jest tekstura wyrobów. Jej ocenę przeprowadza się głównie w celu określenia wpływu zabiegów technologicznych na cechy surowca oraz jakości produktu, kształtowanej w procesach przetwarzania przede wszystkim obróbką cieplną, utrwalaniem czy przechowywaniem [14]. Przyjmuje się, że tekstura to wszystkie postrzegane mechaniczne i geometryczne cechy produktu, określone za pomocą receptorów mechanicznych, dotykowych, słuchowych i wzrokowych [17]. Dlatego też ocena tekstury oraz pomiary związane z jej charakterystyką muszą być kompleksowe.

Najnowocześniejsze systemy oceny tekstury, wspomagane techniką komputerową, pozwalają na szybką i wiarygodną ocenę charakterystycznych dla danego produktu parametrów. I tak np. twardość i jędrność określana jest z zastosowaniem różnorodnych testów: podwójnego ściskania, cięcia, przebijania lub zgniatania, zaś dane uzyskane eksperymentalnie w układzie siła-odkształcenie lub siła-czas pozwalają na przeprowadzenie analizy kształtowania się wartości badanej cechy [14,17]. Kompleksową i wielokierunkową ocenę zapewnia zastosowanie nowoczesnych aparatów do badania tekstury żywności np.: INSTRON Universal Testing Machine, ZWICK Z020, SMS Texture Analyzer. Przeprowadzenie wybranych testów, w zależności od charakterystyki badanego produktu oraz analizy zmian strukturalnych produktów w miarę stosowania zabiegów technologicznych, pozwala na pełną ocenę jakości produktu i jej kształtowanie w zależności od zastosowanego zakresu obróbki [6,7,16].

Charakterystyka tekstury wyrobów makaronowych odgrywa główną rolę w ocenie atrakcyjności wyrobu przez konsumenta. Zarówno wygląd surowych wyrobów oferowanych w handlu, jak również wyznaczniki jakościowe w czasie i po ugotowaniu są istotnymi parametrami wpływającymi na ich całkowitą ocenę. Przy ocenie makaronów ważnymi wyróżnikami jakości są jędrność, spoistość, elastyczność, kleistość, żuwalność oraz napęcznienie, których wzajemne oddziaływania zależą zarówno od składu surowcowego, jak i technologii produkcji [3,4, 6,8,15].

Walsh i Gilles [18] zastosowali surowce o różnej kompozycji białkowej do wytworzenia makaronu, który następnie poddali badaniom tekstury stosując aparat Instron wyposażony w unikatową głowicę (tzw. sztuczny ząb), imitującą proces gryzienia. Dzięki tej metodzie można określić jędrność (ang. *firmness*) wyrobów, wyrażoną jako praca niezbędna do całkowitego roztarcia pojedynczej nitki makaronu. Również zastosowanie komory Kramera w maszynach wytrzymałościowych pozwala zdefiniować twardość i jędrność jako siłę i pracę niezbędną do zerwania struktury spaghetti [8,15]. Za jej pomocą można również oceniać teksturę innych wyrobów np. chrupek, przekąsek czy pasz [12,16].

Celem pracy była ocena wybranych cech tekstury makaronów błyskawicznych z semoliny w zależności od zastosowanych parametrów procesu ekstruzji oraz od czasu ich hydratacji w gorącej wodzie.

MATERIAŁY I METODY

Ocenę cech tekstury przeprowadzono na aparacie Zwick Z020/TN2S przy zastosowaniu testu cięcia, określając maksymalną siłę cięcia oraz pracę cięcia. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu następujących parametrów: odległość między uchwytami – 2,5 mm, siła wstępna – 0,05 N, prędkość badania – $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ z zastosowaniem głowicy F_{nom} 2 kN.

Zasada metody opierała się na tym, że głowica siły przekształca fizyczną wielkość siły w elektrycznie mierzalne napięcie. Powstaje ono z mechanicznego odkształcenia próby i naklejonego czujnika tensometrycznego (DMS). Wartość napięcia pomiarowego na wyjściu jest analogiczna do zmierzonej siły (F), która działa na odkształconą próbę i na cały system czujnika.

Ocenę twardości wyrobów surowych przeprowadzano, w zależności od parametrów wytwarzania, umieszczając pojedynczą nitkę makaronu na stoliku aparatu i poddawano ją cięciu. Badania cech wytrzymałościowych wyrobów hydratowanych przeprowadzono w zależności od czasu ich hydratacji i parametrów wytwarzania. Pobieraną co 60 sekund, aż do momentu uzyskania pełnej przydatności do spożycia, pojedynczą nitkę makaronu ekstrudowanego układano na stoliku pomiarowym maszyny wytrzymałościowej Z020/TN2S, gdzie następował proces ścinania. Wartość siły ścinania oraz pracy zniszczenia wyznaczano w momencie pęknięcia próby. Wyniki oraz przebieg pomiaru obserwowano i rejestrowano na komputerze. Pomiar dla każdej próby makaronu ekstrudowanego wykonano w trzech powtórzeniach, jako wynik przyjmując wartości średnie. Przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji przy zakładanym poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Istotność różnic między średnimi wyznaczono testem Duncana.



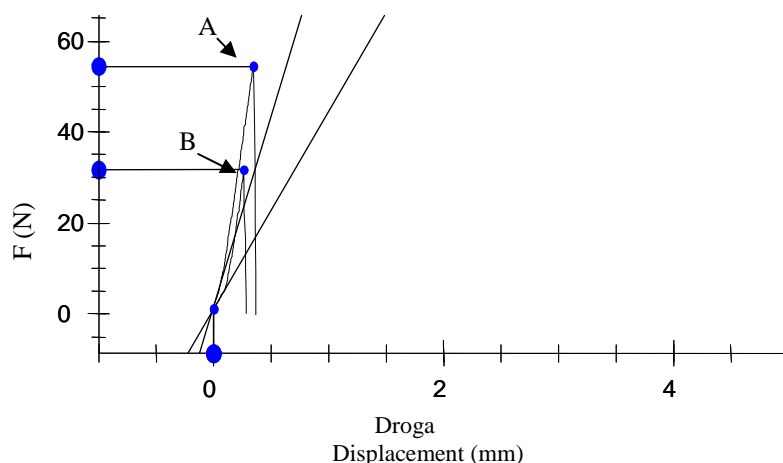
Fot. 1. Ekstrudowany makaron błyskawiczny surowy i po hydratacji
Photo 1. Extruded instant pasta-dry and after hydration

Badaniom poddawano makarony ekstrudowane z semoliny (młyn Lubella S.A.), wytwarzane w zmodyfikowanej wersji jednoślیمakowego ekstrudera TS-45 (Metalchem, Gliwice) z zastosowaniem następujących parametrów:

- temperatura procesu od 60°C do 90°C,
- matryca z 12 otworami o średnicy 0,8 mm,
- wilgotność ciasta na poziomie 28, 30 i 32%,
- prędkość obrotowa ślimaka od 60 do 120 obr·min⁻¹.

WYNIKI

Przykładowy przebieg rejestracji oceny twardości makaronu surowego przedstawiono na rysunku 1.

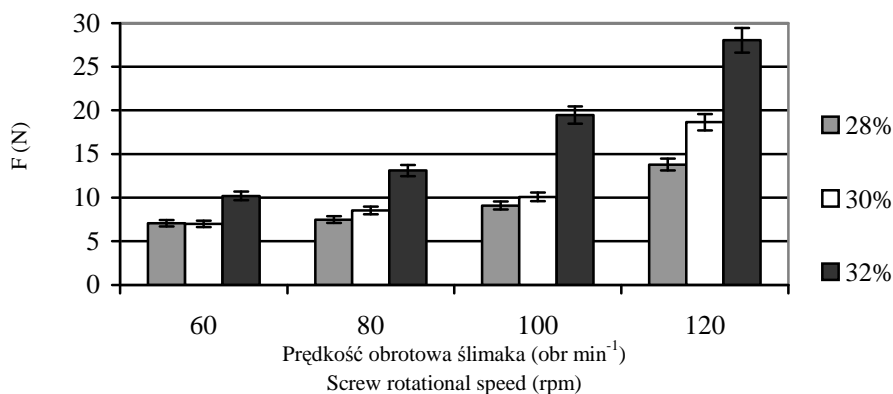


Rys. 1. Przykład pomiaru siły cięcia makaronów ekstrudowanych o różnej wilgotności początkowej: A – 32%, B – 28%

Fig. 1. Example of cutting force measurement of extruded pasta at different initial moisture content: A – 32%, B – 28%

Podczas badania wyrobów z semoliny stwierdzono wzrost twardości makaronu wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera (rys. 2). Zaobserwowano ponadto bezpośredni wpływ wilgotności ciasta na twardość makaronu. Największej siły użyto w czasie cięcia wyrobów wytworzonych przy wilgotności początkowej 32%. Dla zależności tych określono wysokie wartości współczynników determinacji R^2 na poziomie od 0,81 podczas analizy wyników pomiarów przy wilgotności 28% do 0,95 przy wilgotności ciasta 32%. Analiza wariancji przeprowadzona dla tego parametru wykazała istotne statystycznie różnice przy założonym poziomie istotności 0,05.

Rho i in. [13] badali kluski orientalne otrzymane z mąki pszenicy twardej oraz pszenic miękkich o różnym stopniu uwodnienia i doszli do podobnych zależności: wraz ze wzrostem wilgotności surowca wartość siły cięcia wzrastała, przy czym wartości tego parametru dla mąki z pszenic miękkich były niższe w stosunku do mąki z pszenicy durum.

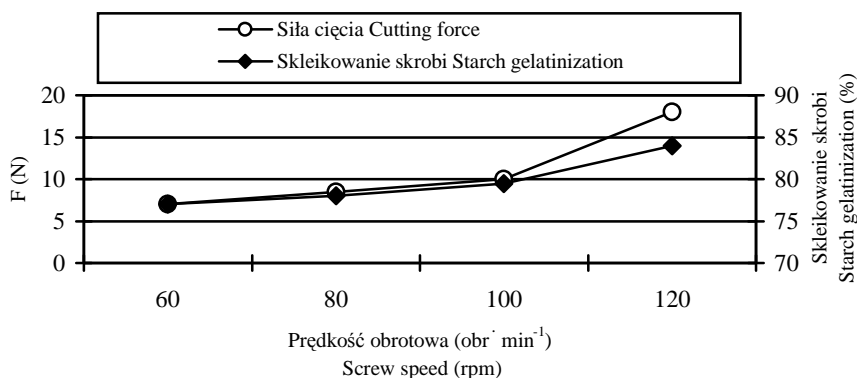


Rys. 2. Twardość makaronów wytworzonych z semoliny przy różnej wilgotności początkowej i różnej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera

Fig. 2. Hardness of semolina pasta at different initial moisture content and rotational speed of extruder screw

W makaronach tradycyjnych, poddawanych procesowi suszenia, skleikowanie skrobi określono na poziomie 50%, a przygotowanie do spożycia powinno być przeprowadzane przez kilkuminutowe gotowanie do pożądanej konsystencji [7]. Skleikowanie skrobi w makaronach szybkogotujących z mąki pszennej typu 500 może wynosić nawet 95%, pod warunkiem przeprowadzenia dodatkowych zabiegów technologicznych (kąpieli w gorącej wodzie i suszenia w temp. 90°C) [10]. Wykazany w badaniach [19] wskaźnik skleikowania skrobi był wysoki (od 75 do 86%), zwłaszcza biorąc pod uwagę wysoką zawartość białka w semolinie, utrudniającego proces kleikowania skrobi [1,2,7,9,18]. Zaobserwowano, że im wyższy był wskaźnik skleikowania skrobi w makaronach, tym większą określono wartość siły cięcia, czyli twardość wyrobów (rys. 3).

Makarony ekstrudowane przygotowywano do badań poprzez zalewanie próby makaronu wodą bezpośrednio po jej zagotowaniu. Poddając ocenie próbki makaronów w aparacie Zwick, analizowano piki wartości siły cięcia dla makaronów uwadnianych w różnym czasie. Wartości siły cięcia przedstawiono w postaci wykresów ilustrujących zmiany tego parametru w miarę upływu czasu hydratacji oraz w zależności od parametrów procesu produkcyjnego. Jako zakończenie procesu hydratacji przyjmowano moment, w którym nie odnotowano piku charakteryzującego siłę cięcia. Moment ten ustala czas niezbędny do całkowitego uwodnienia wyrobów makaronowych i może być przyjmowany jako czas pełnego przygotowania wyrobu do spożycia.



Rys. 3. Relacje twardości oraz wskaźnika skleikowania skrobi w makaronach z semoliny wytwarzanych z ciasta o wilgotności 30% przy różnej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera

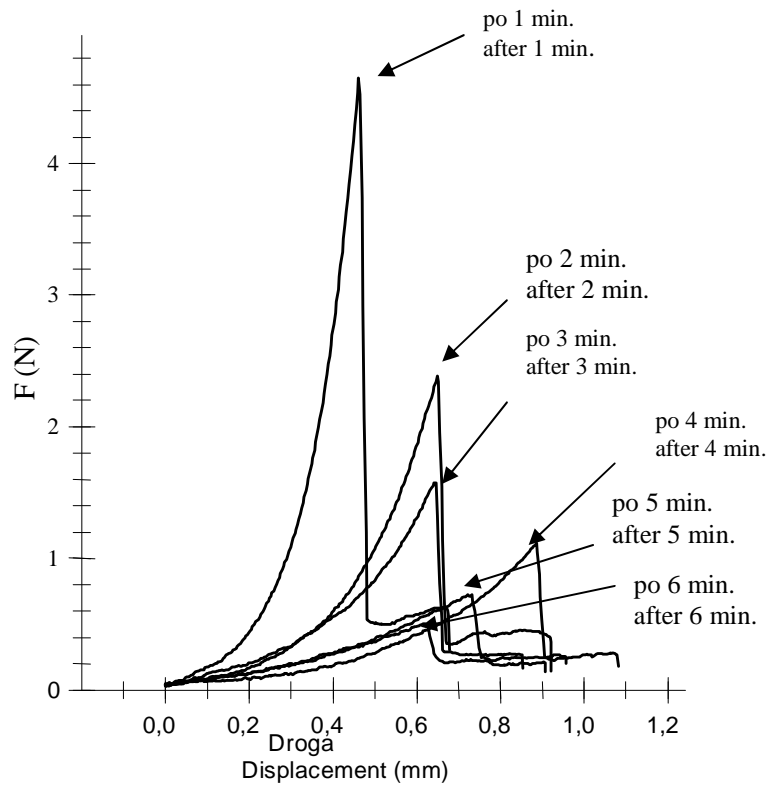
Fig. 3. Relationships between hardness and starch gelatinization degree of semolina pasta processed at 30% of moisture content and at different rotational speeds of extruder screw

Siła cięcia w badaniach tekstury może być interpretowana jako twardość (ang. *hardness*) wyrobów. W zależności od regionu świata oraz typu makaronu, akceptację konsumencką uzyskują wyroby tzw. *al dente*, czyli lekko twarde lub wyroby miękkie o niskiej twardości [4,6,13,15]. Na rysunku 4 przedstawiono jeden z uzyskanych teksturogramów, ilustrujący zarówno siły cięcia, jak i odkształcenie po kolejnych minutach uwadniania makaronu.

Zaobserwowano, że dla wszystkich badanych wyrobów największe siły cięcia i najmniejsze wartości odkształcenia występowały po pierwszej minucie hydratacji, a zależność ta ulegała zmianie wraz z wydłużeniem czasu uwadniania makaronu. Po kilkuminutowej hydratacji siła cięcia była najmniejsza, a wartości odkształcenia największe.

Cechy teksturalne makaronów zależały zarówno od zastosowanej w badaniach wilgotności surowców oraz warunków obróbki ciśnieniowo-termicznej i związaną z nimi charakterystyką fizykochemiczną. Podobne obserwacje odnotowano w wielu pozycjach literaturowych [2,3,6,8,13].

Analizując rysunek 5, przedstawiający siłę cięcia wyrobów wytworzonych z semoliny przy zastosowaniu zróżnicowanej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera, stwierdzono istotny wpływ czasu hydratacji na wartości siły uzyskiwane podczas cięcia pojedynczych nitek makaronowych. Przy 30% wilgotności surowców różnice pomiędzy wartością siły określoną po pierwszej oraz po ostatniej minucie hydratacji były najmniejsze (F_{max} po 1 minucie = 1,62 N, zaś po ostatniej niecałe 0,09 N). Przy innych wilgotnościach surowców różnice w wartościach siły były większe, a uzyskane dane świadczą o znacznym mięknięciu makaronów w kolejnych minutach uwadniania.

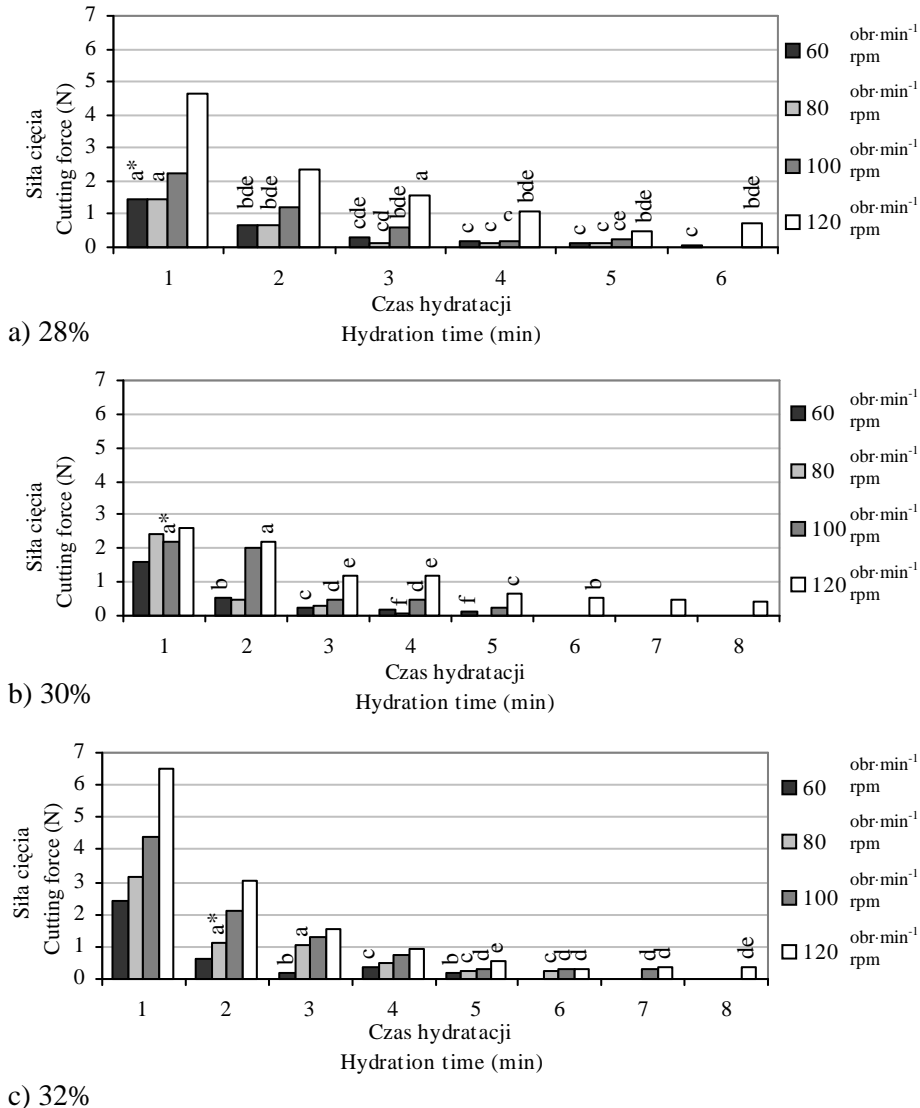


Rys. 4. Przebieg teksturogramu podczas badania makaronów wytworzonych z semoliny przy 28% wilgotności z zastosowaniem $120 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ po różnym czasie hydratacji

Fig. 4. View of texturogram during test of semolina pasta processed at 28% moisture content and 120 rpm, with different rehydration times

Istotne różnice w wartościach siły cięcia obserwowano wraz ze zwiększaniem stosowanej prędkości obrotowej i przy zastosowaniu $120 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ odnotowano ponad dziesięciokrotnie większą siłę cięcia po pierwszej minucie uwadniania w odniesieniu do wartości końcowych testu (rys. 5).

Obserwowano również wpływ prędkości obrotowej na wartości siły cięcia, a także na czas pełnego przygotowania makaronu do spożycia. Wzrost prędkości obrotowej ślimaka w trakcie produkcji powodował wzrost wartości siły cięcia oraz wydłużenie czasu pełnej hydratacji makaronu. Największe wartości siły cięcia, a także najdłuższy czas przygotowania makaronu do spożycia (8 minut) zaobserwowano dla makaronu ekstrudowanego z semoliny o wilgotności 32% przy zastosowaniu prędkości obrotowej ślimaka roboczego równej $120 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$.



* a,b – jednakowe litery na poszczególnych wykresach oznaczają brak istotnych różnic pomiędzy próbkami przy danej wilgotności surowca, przy $\alpha = 0,05$.

* a,b – the same letters on graphs indicate not significant differences between samples at definitive moisture content of raw material, at $\alpha = 0.05$.

Rys. 5. Siły cięcia makaronu ekstrudowanego z semoliny o wilgotności początkowej a) 28%, b) 30%, c) 32% przy różnej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera w funkcji czasu hydratacji

Fig. 5. Values of cutting forces of extruded semolina pasta at initial moisture content of: a) 28%, b) 30%, c) 32%, at different screw rotational speeds, in the function of hydration time

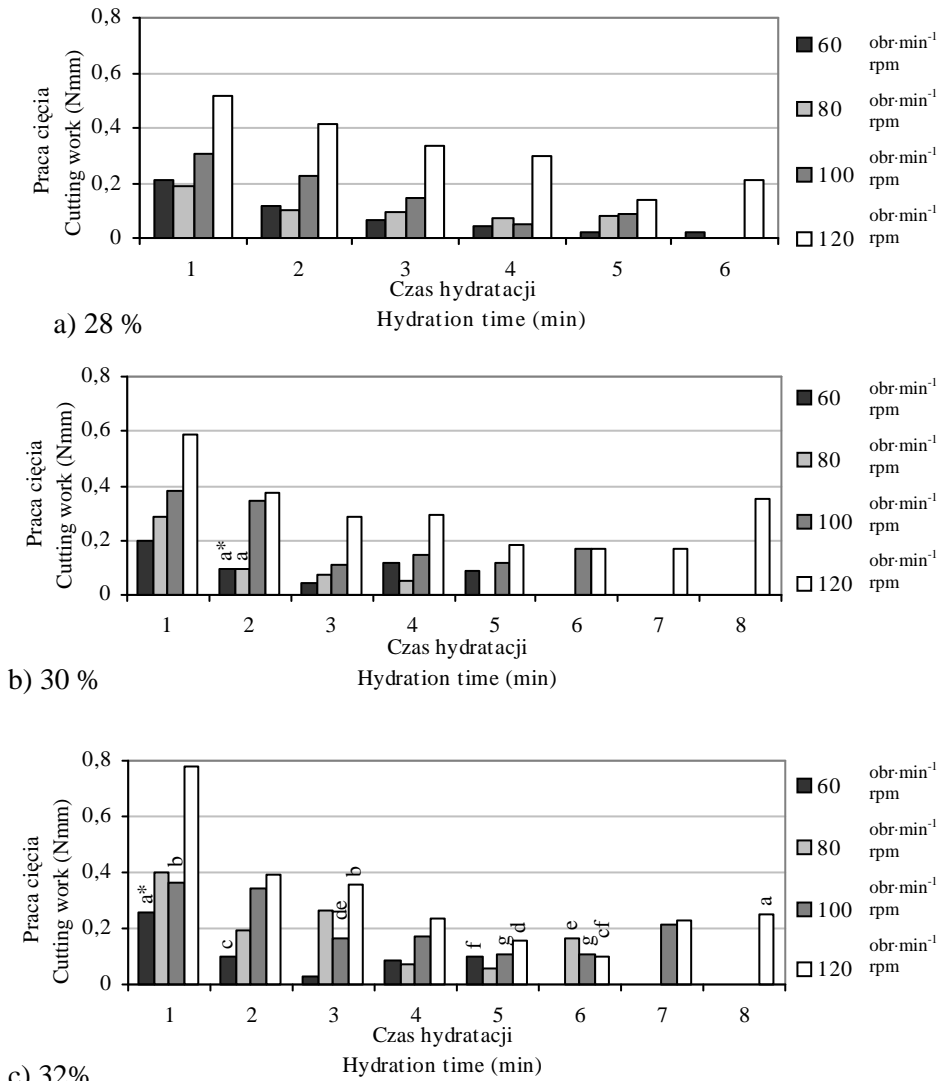
Tekstura tych makaronów miała charakter wyrobów *al dente*, gdyż do samego końca testu wykazywały pewien opór podczas cięcia, o czym świadczą uzyskane w końcowych minutach wartości F_{max} . Analiza przeprowadzona z zastosowaniem regresji wielomianowej wykazała wysoką korelację wartości sił cięcia w funkcji czasu hydratacji dla zastosowanych parametrów procesu (wartości R^2 od 0,88 do 0,99). Analiza dwuczynnikowa przeprowadzona z zastosowaniem testu Duncana wykazała istotne różnice wartości siły cięcia zarówno w zależności od czasu hydratacji, jak też od zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera.

Najmniejsze wartości siły cięcia i równocześnie najkrótszy czas przygotowania makaronu do spożycia (5 minut) odnotowano dla makaronu ekstrudowanego z semoliny przy zastosowaniu prędkości obrotowej wynoszącej 60 obr·min⁻¹. Zauważono, że największe różnice wartości siły cięcia występują pomiędzy pierwszą a drugą minutą namakania makaronu, bez względu na zastosowaną prędkość obrotową ślimaka ekstrudera. Podobne tendencje obserwowano podczas badania cech teksturalnych błyskawicznych klusek azjatyckich poddanych smażeniu w gorącym tłuszczu [13].

Praca cięcia, interpretowana jako cecha tekstury, określana jest w literaturze międzynarodowej od ang. *firmness* [3,4,6,8,15]. W niniejszej pracy jako odpowiednik polski stosuje się określenie jędrność. Natomiast w nazewnictwie dotyczącym tekstury ekstrudatów można spotkać się z określeniem gumistości bądź żuwalności [11,14,16,17].

W trakcie pomiarów zauważono istotny (przy założonym poziomie istotności $\alpha = 0,05$) wpływ prędkości obrotowej ślimaka podczas procesu ekstruzji na jędrność makaronów wytworzonych z semoliny, czyli pracę niezbędną do całkowitego rozgryzienia pojedynczej nitki makaronu. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 6, w zależności od zastosowanych parametrów ekstruzji. Zaobserwowano, iż parametr pracy cięcia przyjmował wartości najmniejsze przy użyciu prędkości obrotowej równej 60 obr·min⁻¹, natomiast wartości najwyższe dla makaronów ekstrudowanych z semoliny przy użyciu 120 obr·min⁻¹. W przeprowadzonej dwuczynnikowej analizie wariancji z zastosowaniem testu Duncana wykazano pomiędzy próbami istotne różnice przy założonym poziomie istotności 0,05 dla każdej zastosowanej w badaniach wilgotności surowca. Zależności opisano także równaniami regresji wielomianowej o wysokich współczynnikach determinacji (R^2 od 0,78 do 0,98).

Wartości pracy cięcia makaronów podgotowanych z semoliny zmniejszały się w kolejnych minutach hydratacji makaronów. Podobne zależności odnotowali Dziki i Laskowski [5], stosując do oceny cech fizycznych makaronów komorę do wytłaczania, a wyniki analizując w funkcji czasu gotowania.



* a,b – jednakowe litery na poszczególnych wykresach oznaczają brak istotnych różnic pomiędzy próbkami przy danej wilgotności surowca, przy $\alpha = 0,05$.

* a,b – the same letters on graphs indicate not significant differences between samples at definitive moisture content of raw material, at $\alpha = 0.05$.

Rys. 6. Zmiany pracy cięcia makaronu ekstrudowanego z semoliny o różnej wilgotności początkowej: a) 28%, b) 30%, c) 32% oraz różnej prędkości obrotowej ślimaka w funkcji czasu hydratacji

Fig. 6. Values of cutting work of extruded semolina pasta at initial moisture content of: a) 28%, b) 30%, c) 32%, at different screw rotational speeds, in the function of hydration time

WNIOSKI

1. Największą twardością charakteryzowały się makarony z semoliny o najwyższej wilgotności ekstrudowane przy zastosowaniu najwyższej prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera. Im wyższy był wskaźnik skleikowania skrobi, tym wyższą obserwowano twardość makaronów.

2. Twardość makaronów uwodnionych zmniejszała się w miarę wydłużania czasu hydratacji wyrobów w gorącej wodzie.

3. Praca cięcia, interpretowana jako jędrność makaronów, zwiększała się w miarę zwiększania prędkości obrotowej. Makarony wytworzone przy 120 obr·min⁻¹ charakteryzowały się teksturą *al dente*, która zanikała po dłuższej hydratacji wyrobów.

PIŚMIENNICTWO

1. **Camire M.E., Camire A., Krumhar K.:** Chemical and nutritional changes in foods during extrusion, *Food Science and Nutrition*, 29, 1, 35-57, 1990.
2. **Cunin C., Handschin S., Walther P., Escher F.:** Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta, *Lebensm.-Wiss. U Technol.*, 28, 323-328, 1995.
3. **Debbouz A., Doetkott C.:** Effect of process variables on spaghetti quality, *Cereal Chemistry*, 73, 6, 672-676, 1996.
4. **D'Egidio M., Nardi S.:** Textural measurement of cooked spaghetti, w **Kruger J.E., Matsuo R., Dick J.:** Pasta and noodle technology, American Association of Cereal Chemistry, Inc., USA, 1996.
5. **Dziki D., Laskowski J.:** Badania wpływu czasu gotowania makaronu na zmiany parametrów wytłaczania, *Acta Agrophysica*, 46, 47-54, 2001.
6. **Edwards N., Izydorczyk M., Dexter J.E., Biliaderis C.:** Cooked pasta texture: comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness, *Cereal Chemistry*, 70, 2, 122-126, 1993.
7. **Feillet P., Dexter J.E.:** Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production, w: **Kruger J.E., Matsuo R., Dick J.:** Pasta and Noodle Technology, American Association of Cereal Chemistry, Inc., USA, 95-131, 1996.
8. **Matsuo R., Irvine G.:** Note on an improved apparatus for testing spaghetti tenderness, *Cereal Chemistry*, 48, 554-558, 1971.
9. **Mościcki L.:** Zmiany właściwości fizykochemicznych surowców roślinnych poddawanych procesowi ekstruzji, *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 6, 27-29, 2002.
10. **Obuchowski W.:** Makarony szybko gotujące, *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 3, 9-10, 1997.
11. PN-ISO 11036, 1999. Analiza sensoryczna. Metodologia. Profilowanie tekstury.
12. **Quing B., Ainworth P., Tucker G., Marson H.:** The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 66, 283-289, 2005.
13. **Rho K., Seib P., Chung O., Deyoe C.:** Noodles. VII. Investigating the surface firmness of cooked oriental dry noodles made from hard wheat flours, *Cereal Chemistry*, 65, 4, 320-326, 1988.
14. **Rosenthal A.J.:** Food texture: Measurement and Perception, Aspen Publisher, Inc., USA, 1999.
15. **Smewing J.:** Analyzing the texture of pasta for quality control, *Cereal Foods World*, 42, 1, 8-12, 1997.

16. **Stanley D.W.:** Chemical and structural determinants of texture of fabricated food, *Food Technology*, 40, 3, 65-76, 1986.
17. **Szcześniak A.:** Texture is a sensory property, *Food Quality and Preference*, 13, 215-225, 2002.
18. **Walsh D., Gilles K.:** The influence of protein composition on spaghetti quality, *Cereal Chemistry*, 48, 544-554, 1971.
19. **Wójtowicz A.:** Wpływ nawilżenia semoliny oraz parametrów ekstruzji na wybrane cechy jakościowe makaronów błyskawicznych, *Acta Agrophysica*, 8(1), 263-273, 2006.

INFLUENCE OF EXTRUSION PARAMETERS ON SOME TEXTURE CHARACTERISTICS OF PRECOOKED SEMOLINA PASTA

Agnieszka Wójtowicz

Department of Food Process Engineering, Agricultural University
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: agnieszka.wojtowicz@ ar.lublin.pl

Abstract: The results of some texture characteristics of precooked pasta products are presented in the paper. Tests were performed on extruded semolina pasta of different initial moisture content, processed at different screw rotation per minute (rpm) during extrusion. Hardness was defined as cutting force of dry and hydrated in hot water, and firmness as cutting work of hydrated pasta products. A significant influence was observed of both semolina moistness and extrusion parameters on pasta hardness and firmness. Hardness of dry pasta ranged from 7 to 27 N and increased with higher semolina moisture content and higher rpm used during the extrusion. Hardness and firmness decreased with extensional hot water hydration time. Most firm texture was noted for pasta with higher starch gelatinization degree (88%) extruded from semolina with 32% of moisture content.

Keywords: extrusion-cooking, precooked pasta, semolina, texture, hardness, firmness