

WPŁYW POROWATOŚCI NA CECHY TEKSTURALNE EKSTRUDATÓW ZBOŻOWYCH

Adam Ekielski, Tomasz Żelaziński

Katedra Organizacji i inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań porowatości dostępnych na rynku ekstrudatów zbożowych. Określano ogólną powierzchnię porów na badanej powierzchni, liczbę porów na jednostkę powierzchni oraz wskaźniki wydłużenia i okrągłości porów. Następnie wykonano badania teksturalne. Stwierdzono, że wraz ze zmianami porowatości badanych próbek zmieniała się wartość maksymalnej siły potrzebnej do przecięcia ekstrudatów. Zaobserwowano również, że wraz ze zmniejszeniem porowatości, wartości współczynnika okrągłości wzrastały, co przyczyniało się do zmniejszenia okrągłości por.

Słowa kluczowe: ekstruzja, porowatość, tekstura

Wstęp

Najbardziej popularnymi wyznacznikami parametrów jakościowych produktów ekstrudowanych są wskaźniki: gęstości, ekspansji, rozpuszczalności i absorpcji wodnej (WSI i WAI) oraz stopienia żelifikacji skrobi itp. Znajac wartości tych wielkości można określić jakość większości tego typu produktów wyrażoną jako akceptacja jego cech sensorycznych. Żaden z tych wskaźników nie daje jednak pełnego obrazu jakościowego analizowanego produktu, dlatego w wielu pracach [Chuang i Yeh 2004; Ding i in. 2006; Desrumaux i in. 1998] można znaleźć zwykle zestawienie analizy kilku parametrów jakościowych, których celem jest dokładniejszy opis zjawisk zachodzących w produktach ekstrudowanych oraz ich wpływ na sensorykę otrzymanego produktu. W konsekwencji takie badania są czasochłonne, a co za tym idzie skomplikowane i kosztowne. Poszukuje się zatem nowych uniwersalnych wskaźników jakościowych mogących charakteryzować cechy teksturalnych i sensorycznych produktów spożywczych. Jednym z takich parametrów może być porowatość (struktura wewnętrzna) określana na przekroju analizowanych próbek, wyrażona jako rozkład wielkości i kształtu porów. Według Mościckiego i in. [2007], strukturę ekstrudowanych produktów kształtują wiązki stopionych włókien białkowych lub żżelifikowanej skrobi, za których budowę odpowiedzialne są procesy fizyczne i chemiczne zachodzące w cylindrze ekstrudera. Wielu autorów wiąże zatem zmienną porowatość produktów ze zmianami parametrów wejściowych procesu ekstruzji takich jak: skład,

rozdrobienie i wilgotność surowca, temperatura i ciśnienie w cylindrze ekstrudera czy rozmiar dyszy wylotowej matrycy [Girish i in. 2004; 2006; Hayter i in. 1989]. Z drugiej strony według Lui i Peng [2005] i Desrumaux i in. [1998] zmiany porowatości wpływają znacząco na cechy teksturalne ekstrudowanych produktów. Lanuay i in. [1983] zauważali, że porowatość istotnie wpływa również na ocenę sensoryczną, a wraz z większymi porami wzrasta chrupkość takich produktów. Przebieg zmian właściwości teksturalnych nadal nie jest do końca poznany i ciągle jest przedmiotem zainteresowania wielu autorów [Desrumaux i in. 1998; Ays,e i in. 2004; Lui i Peng 2005; Żelaziński 2011]. Brak jest ocen związanych z wpływem zróżnicowania wielkości porów w ekstrudatach na wyniki pomiarów teksturalnych.

Metody analizy obrazu dają możliwość bardzo szybkiego i precyzyjnego określania porowatości. Możliwe jest także badanie porowatości bezpośrednio na linii produkcyjnej. Przykładowo połączenie analizy porowatości z analizą barwy może dać bardzo wiele informacji o jakości produktu [Biller 2006] nawet bezpośrednio po opuszczeniu matrycy ekstrudera. Tak szybkie podanie informacji o produkowanym wyrobie może pozwolić na odpowiednio szybkie przeregulowanie systemów sterowania procesem ekstruzji [Ekielski 2006] powodując oszczędność czasu, surowca i energii.

Cel i zakres pracy

Celem badań było określenie wpływu zmian porowatości produktów na ich cechy teksturalne.

Zakres pracy obejmował: pomiary porowatości, pomiary wytrzymałości ekstrudatów oraz ocenę sensoryczną.

Metodyka

Do badań wykorzystano cztery dostępne na rynku produkty ekstrudowane o zbliżonym składzie surowcowym: P1 – Ciniś gwiazdki, P2 – Magusie, P3 – Kuleczki czekoladowe, P4 – Kwadraciki zbożowe.

Badania porowatości wykonano na stanowisku badawczym analizy obrazu wyposażonym w mikroskop i oprogramowanie do analizy zdjęć: mikroskop stereoskopowy Opta Tech SL + kamera Opta Tech 3 Mpixel. Próbkę oświetlano światłem halogenowym (wąsy światłowodowe). Zdjęcia zapisywano w formacie TIF w rozdzielczości 2048 x 1536. Porowatość określano według metody Gosselin i Rodrigue [2005] stosując nieregularną obwiednię analizowanej grupy porów powietrznych na analizowanych zdjęciach.

Do analizy zdjęć zastosowano program firmy National Instrument NI Vision 7.1.1. Uzyskane kolorowe zdjęcia transponowano do przestrzeni monochromatycznej. Otrzymane obrazy o bajtowej skali szarości (256 odcieni) przekształcano w dwuwartościowe mapy bitowe. Wartość progową T przekształcenia dobierano automatycznie jako wynik funkcji:

$$T = \sup\{A_T\}$$

gdzie:

A_T – zbiór przedstawia wartości liczby rozpoznawalnych porów dla wartości progo-
wej $T \in \langle 0, 255 \rangle$.

Po obliczeniu wartości T wyznaczono liczbę porów na jednostkę powierzchni (cm^2) oraz ogólną powierzchnię porów w badanym obszarze (%) (rys. 1). Dodatkowo określono współczynnik okrągłości porów (-), który wyznaczano jako stosunek obwodu analizowanego pora do obwodu koła o powierzchni danego pora oraz współczynnik wydłużenia porów, który obliczano jako stosunek długości dłuższego boku prostokąta do boku krótszego opisującego analizowany por.

Do badań wytrzymałościowych wykorzystano maszynę Instron 4301, na której wykonano testy cięcia. Badania przeprowadzono dla sześciu wybranych losowo ekstrudatów z każdej grupy produktów (P1,...P4). Za wytrzymałość przyjęto wartość siły maksymalnej $F_{\max}$ [kN] potrzebnej do przecięcia próbki.

Analizę sensoryczną ekstrudatów przeprowadzono zgodnie z normą PN-ISO 6564: [1999]; Analiza sensoryczna – Metodologia – Metody profilowania smakowości. Ocenę sensoryczną wykonano w grupie reprezentacyjnej 10 przeszkolonych osób. Do oceny produktów wybrano cechy sensoryczne charakterystyczne dla ekstrudatów. Były to: twardość i kruchość. Próbkę były podawane oceniającym wraz z mlekiem (zawartość tłuszczu 2%). Każda z tych cech była kolejno oceniana na skali liniowej (graficznej) na odcinku o długości 100 mm z zaznaczonymi określeniami brzegowymi.

Wyniki i dyskusja

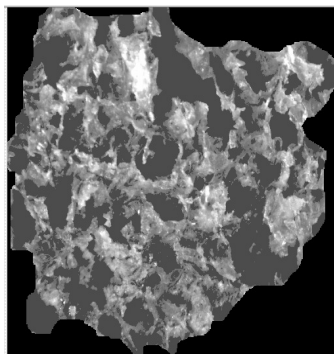
Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazu przeciętych poprzecznie wybranych próbek ekstrudatów stwierdzono, że wszystkie badane produkty ekstruzji charakteryzowały się zróżnicowaną porowatością. Wyniki pomiarów dla poszczególnych próbek przedstawiające rozkład porów zestawiono w tabeli 1. Stwierdzono, że ogólna powierzchnia badanych porów odniesiona do badanej powierzchni mieściła się w przedziale od 41,29% do 43,59%.

Liczba porów na cm^2 ekstrudatu wahała się od 81 dla ekstrudatu P4 do 263 dla ekstrudatu P1 (rys. 2). Stwierdzono, że największy udział w badanej powierzchni zajmowały pory o powierzchni poniżej $100 \mu\text{m}^2$, co zaobserwować dla wszystkich badanych próbek. Wraz ze zwiększeniem rozmiaru powierzchni porów udział poszczególnych frakcji zmniejszał się.

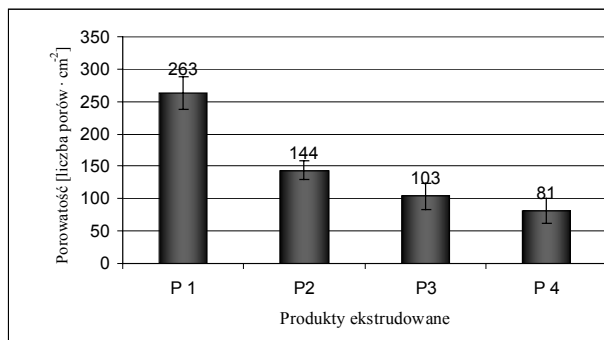
Table 1. Przykładowy rozkład porów na powierzchni ekstrudatów

Table 1. Sample distribution of pores on the surface of extrudates

Parametr	P 1	P 2	P 3	P 4
Liczba porów $<100 \mu\text{m}^2$	168	73	52	43
Liczba porów $100-200 \mu\text{m}^2$	17	25	11	0
Liczba porów $200-500 \mu\text{m}^2$	49	23	11	0
Liczba porów $500-1000 \mu\text{m}^2$	26	8	14	12
Liczba porów $1000-1500 \mu\text{m}^2$	0	6	8	14
Liczba porów $> 1500 \mu\text{m}^2$	3	8	8	12



Źródło: opracowanie własne

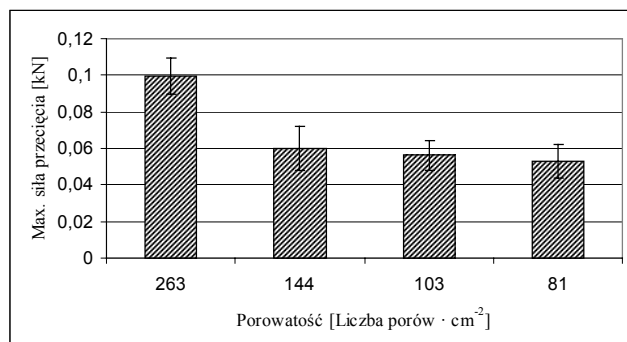


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Przykład doboru wartości progowych na analizowanej powierzchni
Fig. 1. Example of selection of the threshold values for the analyzed surfaces

Rys. 2. Zmiany porowatości ekstrudowanych produktów wykorzystywanych w badaniach
Fig. 2. Changes in porosity of the extruded products used in investigation

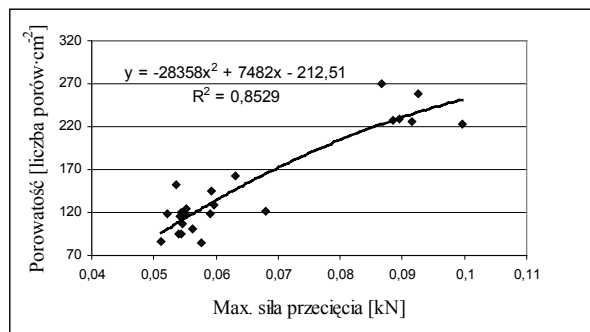
Stwierdzono, że wraz ze zmianami porowatości badanych próbek zmieniała się wartość maksymalnej siły potrzebnej do przecięcia ekstrudatów rys. 3. Największą wytrzymałością (0,1 kN) charakteryzowały się ekstrudaty o największej porowatości równej 263 porów na jednostkę powierzchni natomiast najmniejszą – 81 porów, gdzie siła tnąca wynosiła 55 N. Skorelowanie uzyskanych wartości pozwoliło na wyznaczenie równania regresji o współczynniku determinacji $R^2=0,85$ (rys.4). Wyniki te są zbieżne z wcześniej przeprowadzonymi badaniami ekstrudatów kukurydziano-gryczanych [Ekielski i in. 2007].



Rys. 3. Wartości siły maksymalnej [kN] potrzebnej do przecięcia próbki ekstrudatu dla materiałów o różnej porowatości

Fig. 3. The maximum force values [kN] required to cut extrudate samples for materials of different porosity

Źródło: opracowanie własne

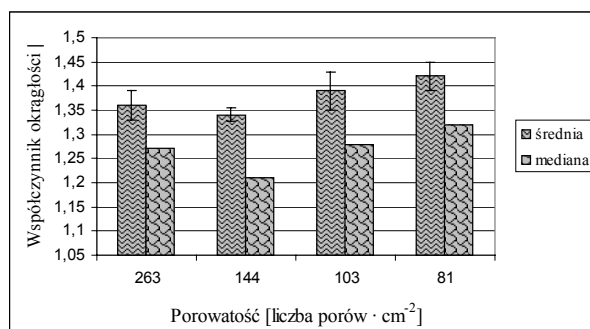


Rys. 4. Zależność porowatości od wartości maksymalnej siły [kN] potrzebnej do przecięcia próbki ekstrudatu

Fig. 4. Dependence of porosity on the value of maximum force required to cut extrudate samples [kN]

Źródło: opracowanie własne

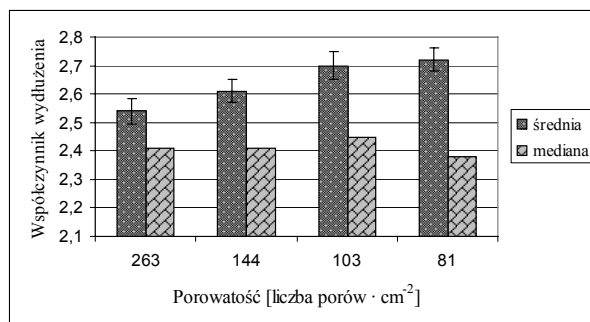
Ciekawe z praktycznego punktu widzenia zastosowania analizy porowatości okazały się wyniki badań współczynnika okrągłości i wydłużenia porów. Stwierdzono, że wraz ze zmniejszeniem porowatości, wartości współczynnika okrągłości wzrastały, co wskazywało na zmniejszenie okrągłości porów (rys. 5). Współczynnik wydłużenia porów wskazywał natomiast wzrost długości porów (rys. 6). Takie zjawisko jest oczywiście zrozumiałe, jednakże nie znając parametrów wejściowych w jakich wykonywano produkty, wiedza o kształcie porów może dostarczyć wiele informacji o przebiegu procesu technologicznego.



Rys. 5. Wartości współczynnika okrągłości [-] porów ekstrudatu dla materiałów o różnej porowatości

Fig. 5. Values of the circularity factor [-] of the extrudate pores for materials of different porosity

Źródło: opracowanie własne



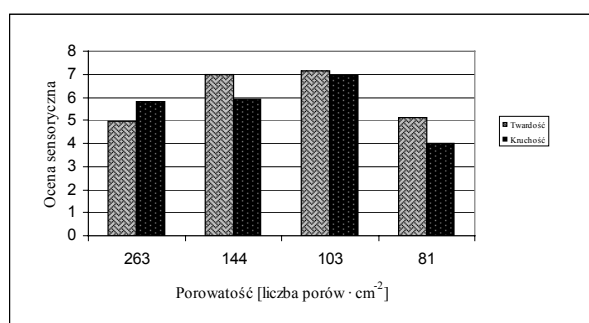
Rys. 6. Wartości współczynnika wydłużenia [-] porów ekstrudatu dla materiałów o różnej porowatości

Fig. 6. Values of the elongation factor [-] of the extrudate pores for materials of different porosity

Źródło: opracowanie własne

Wydłużenie porów i rozbudowana ich powierzchnia może być spowodowana niską prędkością obrotową ślimaka lub nierównomiernością podawania materiału (jest to usterka) przy dużej wilgotności materiału. W czasie opuszczania głowicy materiał ekspandując

wybiera kierunek najmniejszych oporów. Z reguły jest to kierunek wzdłuż osi otworu lub zbliżony [Katiba i in. 2003; Pansawat 2008]. W ostatniej fazie wytłaczania warstwy przyściennego ekstrudatu są deformowane przez znaczne prędkości ścinania występujące pomiędzy ekstrudatem a ściankami matrycy. Prowadzi to do deformacji wzdłużnej porów i rzeczywistego zwiększenia grubości ścian ekstrudatu ograniczając późniejszą możliwość ekspansji porów w kierunku poprzecznym.



Rys. 7. Ocena sensoryczna twardości i kruchości w zależności od porowatości ekstrudatu.

Fig. 7. Sensory evaluation of hardness and brittleness depending on the porosity of the extrudate

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzona analiza sensoryczna wykazała, że produkty ekstrudowane wraz ze zmniejszeniem średniej liczby porów na cm² od 144 do 81 w odczuciu konsumentów charakteryzowały się niższą jakością, co świadczy o wzroście twardości i kruchości takich produktów. W przypadku ekstrudatów o liczbie porów 263 ocena sensoryczna była podobna jak w przypadku ekstrudatów o liczbie porów 81. Badania te są rozbieżne z wynikami badań instrumentalnych. Podobne zjawisko zaobserwowano podczas badań porowatości ekstrudatów gryczanych w pracy [Żelaziński 2010].

Wnioski

1. Przeprowadzone badania porowatości produktów ekstrudowanych wykazały, że wraz ze wzrostem porowatości ekstrudatów wartości maksymalnej siły potrzebnej do ich przecięcia wyraźnie wzrastały.
2. Zaobserwowano, że wraz ze zmniejszeniem porowatości wzrastały wartości współczynnika okrągłości, co skutkowało zmniejszeniem okrągłości porów.
3. Ocena sensoryczna wykazała znaczne różnice w twardości i kruchości badanych próbek ekstrudatów. Najwyżej oceniane były ekstrudaty o porowatości 144 i 103 porów·cm⁻², co może sugerować, że jest to optymalna w badanym zakresie rozmiaru pora, porowatość tego typu produktów.

Bibliografia

- Billar E.** (2006): Dynamika zmian barwy podczas obróbki termicznej pieczywa pszennego w zależności od czasu miesienia ciasta. *Inżynieria Rolnicza*, 7(82), 43-50.
- Chuang G. C.-C., Yeh A.-I.** (2004): Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. *Journal of Food Engineering* 63(6), 21-31.

- Desrumaux A., Bouvier J. M., Burri J.** (1998): Corn grits particle size and distribution effect on the characteristic of expanded extrudates. *Journal of Food Science Engineering Processing* 63(5), 857-863.
- Ding Q.-B., Ainsworth P., Plunkett A., Tucker G., Marson H.** (2006): The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 73(2), 142-148.
- Ekielski A.** (2006): Wykorzystanie sterowników rozmytych do optymalizacji pracy linii do ekstrudowania produktów roślinnych. *Inżynieria Rolnicza* 7(82), 145-153.
- Ekielski A.** (2011): Effect of selected parameters of double-screw extruder operation on fractal dimensions of the extrudate. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*, 57, 41-47.
- Ekielski A., Majewski Z., Żelaziński T.** (2007): Effect of extrusion conditions on physical properties of buckwheat –maize blend extrudate. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57, 2(A), 57-61.
- Emir Ays,e O' zer, S,enol I' banog'lu, Paul Ainsworth, Cahide Yag'mur.** (2004): Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, Vol. 218, No 5, 474-479.
- Girish M. Ganjyal G. M., Milford A., Hanna M. A.** (2006): Digital image processing for measurement of residence time distribution in a laboratory extruder. *Journal of Food Engineering*, 75(2), 237-244.
- Girish M., Ganjyal G. M., Milford A., Hanna M. A.** (2004): Effect of extruder die nozzle dimension on expansion and micrographic characterization during extrusion of acetylated starch. *Starch*, 56, 108-117.
- Gosselin R., Rodrigue D.** (2005): Cell morphology analysis of density polymer foams. *Polymer Testing*, 24, 1027-1035.
- Hayter A. L., Smith A. C., Richmond P.,** (1986): The physical properties of extruded food foams. *Journal of Materials Science*, 21(10), 3729-3736.
- Katiba M., Goullieux A., Ralainirina R., Queneudec M.** (2003): Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *Journal of Food Engineering*, 57, 145-152.
- Lanuay B., Lisch J. M.,** (1983): Twin-screw extrusion cooking of starch pastes, expansion and mechanical properties of extrudates. *Journal of Food Engineering*, 9(2), 259-280.
- Lui W.-B., Peng J.,** (2005): Effects of operating conditions on degradable cushioning extrudate's cellular structure and the specific heat. *Journal of Food Engineering*, 70(2), 171-182.
- Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A.** (2007): *Technika ekstruzji w przemyśle rolno-spożywczym*. PWRiL. Warszawa, ISBN 9788309010272
- Pansawat N., Jangchuda K., Jangchuda A., Wuttijumnonga P., Saaliac F.K., Eitenmillerb R.R., Phillipsc R.D.** (2008): Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT* (41), 632-641.
- Żelaziński T.** (2010): Badania procesu ekstruzji mieszanek z udziałem gryki i kukurydzy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 546, 375-381.
- Żelaziński T.** (2011): Investigaton on porosity of extrudates at various buckwheat content in the mixture. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW*. No 57, 49-55.
- PN-ISO 6564:1999; Analiza sensoryczna – Metodologia – Metody profilowania smakowości.

INFLUENCE OF POROSITY ON TEXTURAL PROPERTIES OF WHEAT EXTRUDATES

Abstract. The paper presents the results of the research on porosity of the cereal extrudates available on the market. Total area of pores on the tested surface, the number of pores per unit area and the elongation and circularity indices were determined. Then, textural examinations were carried out. It was found that the value of the maximum force required to cut extrudates was changing along with the changes of porosity of the tested samples. It was observed that with a decrease of porosity, circularity factor values were increasing, which contributed to the reduction in pores circularity.

Key words: extrusion, porosity, texture

Adres do korespondencji:

Tomasz Żelaziński; e-mail: tomasz_zelazinski@sggw.pl
Katedra Organizacji i inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa