

EWA TOMASZEWSKA-CIOSK

ANTONI GOLACHOWSKI

WIOLETTA DROŹDŹ

HANNA BORUCZKOWSKA

EWA ZDYBEL

Katedra Technologii Rolnej i Przechowalnictwa

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wpływ warunków przechowywania na właściwości ekstrudowanych preparatów skrobi ziemniaczanej i kaolinu

The influence of storage conditions on the properties of extruded potato starch and kaolin

Celem pracy było określenie czasu i warunków przechowywania na właściwości ekstrudatów otrzymanych ze skrobi oraz mieszaniny skrobi i kaolinu. Skrobię ziemniaczaną oraz mieszaninę skrobi ziemniaczanej i kaolinu w ilości 50% poddano procesowi ekstruzji w jednoślindakowym ekstruderze firmy Brabeder – typ 20DN. Wytworzone preparaty przechowywano w komorze suszarniczej oraz w komorze klimatycznej przez okres: 1, 3, 6, 9, 14 i 21 dni. Po tym czasie w ekstrudatach określono: zawartość wody, stopień ekspansji, odkształcenie przy złamaniu oraz moment gnący. Właściwości preparatów różniły się w zależności od rodzaju ekstrudowanej mieszanki oraz czasu i warunków przechowywania. Ekstrudaty wytworzone z mieszanki z dodatkiem kaolinu charakteryzowały się mniejszą ekspansją, mniejszym pochłanianiem wilgoci oraz mniejszym odkształceniem w chwili złamania i mniejszym momentem gnącym w porównaniu z ekstrudatami wytworzonymi z naturalnej skrobi ziemniaczanej. Preparaty przechowywane w warunkach większej wilgotności odznaczały się większym stopniem ekspansji oraz mniejszym odkształceniem i mniejszym momentem gnącym w stosunku do preparatów przechowywanych w niższej wilgotności.

Słowa kluczowe: ekstruzja, kaolin, skrobia ziemniaczana, tworzywa biodegradowalne

The purpose of the work was to determine the properties of extrudates obtained from potato starch and potato starch with kaolin addition during storage in different conditions. The starch was subjected to extrusion process in a single screw laboratory Brabender extruder (of 20DN type). The extruded starch was stored in drier chamber and controlled environment chamber. Storage periods were defined as follows: 1, 3, 6, 9, 14 and 21 days. After this time, we determined: moisture content, expansion ratio, elongation at breaking and bending moment in prepared samples. The properties of extrudates were different and depended on the kind of extruded starch, time and conditions of storage. Extrudates produced from starch with kaolin were characterized with lower expansion ratio, lower water adsorption, lower elongation at breaking and bending moment in comparison to extrudates produced

using native potato starch only. Extruded starch stored in higher moisture showed higher expansion, lower elongation and lower bending moment in comparison to that stored in lower moisture.

Key words: biodegradable materials, extrusion, kaolin, potato starch

WSTĘP

W ostatnich 30 latach produkcja skrobi na świecie wzrosła ponad 5-krotnie, osiągając w 2007 roku około 55 mln ton. Wzrost zapotrzebowania na skrobię i zwiększenie jej produkcji jest spowodowane bardzo szerokim zakresem zastosowania skrobi zarówno w przemyśle spożywczym, jak i w wielu innych gałęziach przemysłu, m.in. papierniczym, włókienniczym, farmaceutycznym, kosmetycznym.

Skrobia naturalna, nieprzetworzona, jest użytkowana w niewielkim stopniu. Większość skrobi, niezależnie od jej pochodzenia botanicznego, jest poddawana modyfikacjom za pomocą czynników chemicznych, fizycznych lub enzymatycznych. Modyfikacje skrobi prowadzi się jedną metodą lub kombinacjami kilku w celu nadania jej korzystnych właściwości, odpowiednich do dalszego sposobu użytkowania (Leszczyński, 2004).

Jednym ze sposobów modyfikowania skrobi metodą fizyczną jest ekstruzja. W procesie tym surowiec zostaje w krótkim czasie poddany działaniu sił mechanicznych, temperatury i ciśnienia. Podczas ekstrudowania skrobi dochodzi do jej skleikowania i częściowej hydrolizy. Ekstruzja powoduje naruszenie struktury gałeczek skrobiowych, zmiany w przestrzennej organizacji łańcuchów skrobiowych, zmianę stopnia jej krystaliczności oraz częściową molekularną degradację (Cheyne i in., 2005; Thymi i in., 2005). Proces ekstruzji zwiększa rozpuszczalność i wodochłonność skrobi (Śmietana i in., 1996), podatność na enzymy (Hagenimana i in., 2006) oraz zmniejsza lepkość (González i in., 2006). Zmiany tych właściwości spowodowane są m.in. przez niszczenie struktury krystalicznej oraz defragmentację łańcuchów skrobi podczas ekstruzji. Ciężar cząsteczkowy poszczególnych łańcuchów skrobi zmniejsza się w funkcji wykładniczej, wraz ze wzrostem właściwej energii mechanicznej — SME (ang. specific mechanical energy). Zarówno energia mechaniczna, jak i termiczna powodują niszczenie wiązań wodorowych pomiędzy sąsiednimi łańcuchami w strukturze skrobi oraz rozrywanie tych łańcuchów (Lai i in., 1991).

Preparaty skrobi modyfikowanej, w tym skrobi modyfikowanej metodą ekstruzji, są coraz częściej przedmiotem eksperymentów jako potencjalne materiały do produkcji tworzyw biodegradowalnych (Averous i in., 2004). Tworzywa z samej skrobi są jednak dość kruche i nieodporne na działanie wody. Wcześniejsze prace wielu autorów potwierdzają możliwość stworzenia różnego rodzaju tworzyw bazujących na polimerach syntetycznych, takich jak polietylen, polipropylen, polistyren, z dodatkiem skrobi modyfikowanych (Polnaya i in., 2012). Ze względu na ilość wprowadzonej skrobi do polimerów syntetycznych rozróżnia się tworzywa modyfikowane, w których skrobia stanowi 5-15% oraz tworzywa na bazie skrobi, w których zawartość skrobi stanowi 40-60%. Tworzywa takie nie ulegają wprawdzie całkowitej degradacji biologicznej, ale dzięki obecności skrobi prędkość tego procesu znacznie się zwiększa (Leszczyński, 1999). Z przeprowadzonych badań wynika, że wraz ze wzrostem zawartości skrobi w tworzywie

zwiększa się nie tylko stopień i tempo jego biodegradacji, ale jednocześnie następuje pogarszanie jego właściwości użytkowych (wytrzymałości na rozrywanie, rozciągliwości, odporności na wilgoć itp.) W celu wytworzenia tworzywa wytrzymałego mechanicznie i jednocześnie biodegradowalnego podjęto prace nad możliwością wzbogacenia tworzyw na bazie skrobi substancjami mineralnymi. W przeprowadzonych do tej pory badaniach (Golachowski i in., 2004) stwierdzono, że dodatek takich substancji jak np. talk, dolomit czy szkło wodne wyraźnie wpływa na poprawę właściwości mechanicznych i obniżenie wodochłonności oraz rozpuszczalności wytwarzanych mieszanin. Poprawa ta jednak nie jest na tyle duża, aby można było uzyskać preparaty, których właściwości mechaniczne i odporność na działanie wody byłyby porównywalne do tworzyw z polimerów syntetycznych. Tworzywa na bazie skrobi z dodatkami substancji mineralnych w chwili obecnej nie mogą całkowicie zastąpić stosowanych dziś polimerów syntetycznych, ale mogą być z powodzeniem użyte jako materiały do produkcji doniczek do sadzonek, pojemników na jajka, pudełek czy naczyń jednorazowego użytku (Czerniawski i in., 1998). W związku z tym konieczne jest określenie wpływu różnych warunków przechowywania na trwałość i właściwości takich tworzyw.

Celem pracy było określenie czasu oraz warunków przechowywania na wybrane właściwości ekstrudowanych preparatów otrzymanych ze skrobi ziemniaczanej oraz mieszaniny skrobi ziemniaczanej i kaolinu.

MATERIAŁ I METODY

Do badań użyto: skrobi ziemniaczanej wyprodukowanej w Przedsiębiorstwie Przemysłu Ziemniaczanego S.A. w Niechlowie oraz kaolinu KOWS wyprodukowanego przez kopalnię Surowców Mineralnych Surmin — Kaolin S.A. w Nowogrodźcu; (przeciętny skład chemiczny kaolinu KOWS: SiO_2 — 51,4%; Al_2O_3 — 34,4%; Fe_2O_3 — 0,51%; TiO_2 — 0,50%; CaO — 0,07%; MgO — 0,12%; Na_2O — 0,02%; K_2O — 0,64%; P_2O_5 — 0,15%; BaO — 0,01%; Fe_2O_3 — 0,11% rozpuszczalne w kwasach; CuO — 0,0003% rozpuszczalne w kwasach; MnO — 0,004% rozpuszczalne w kwasach; udział cząstek o średnicy powyżej 45 μm — 0,03%, poniżej 15 μm — 99%, poniżej 2 μm — 62%).

Skrobię ziemniaczaną oraz mieszaninę skrobi ziemniaczanej z kaolinem w ilości 50% (w przeliczeniu na suchą masę) doprowadzano do wilgotności 25%. Próby umieszczono w szczelnie zamkniętych workach foliowych i kondycjonowano w temperaturze 25°C przez 24 godziny. Bezpośrednio przed procesem ekstruzji próby mieszano. Ekstruzję przeprowadzono w jednoślindakowym ekstruderze firmy Brabeder — typ 20DN, stosując ślimak o stopniu sprężenia 2:1 i okrągłą dyszę o średnicy 3 mm. Obroty ślimaka wynosiły 80 obr/min., a podajnika 35 obr/min. Temperatura w poszczególnych sekcjach wynosiła: I sekcja — 50°C, II sekcja — 60°C, głowica — 70°C. Wytworzone preparaty przechowywano w temperaturze 25°C w komorze suszącej z owiewem oraz w komorze klimatycznej o wilgotności powietrza 90% przez okres: 1, 3, 6, 9, 14 i 21 dni.

W preparatach po przechowywaniu oznaczano:

— zawartość wody,

- stopień ekspansji — jako stosunek masy ekstrudatu do jego objętości,
- właściwości mechaniczne.

Pomiar właściwości mechanicznych przeprowadzono przy pomocy urządzenia wytrzymałościowego Instron 5544 z zastosowaniem przystawki Bend Fixture. Głowica z ramieniem tnącym podczas wykonywania testów przesuwała się z prędkością 4,5 mm/min, a jej obciążenie wynosiło 2 kN. Odległość pomiędzy punktami podparcia badanych ekstrudatów ustalono jako 25,44 mm. W trakcie trwania pomiaru wartość siły działającej na ekstrudaty była zapisywana z częstotliwością 16,7 s⁻¹. Na podstawie otrzymanych wykresów wytrzymałościowych wyznaczono: odkształcenie przy złamaniu oraz minimalną siłę niezbędną do złamania, a następnie obliczono moment gnący.

Moment gnący obliczono według wzoru:

$$M_g = \frac{(y - x) \cdot F_{\min} \cdot x}{y}$$

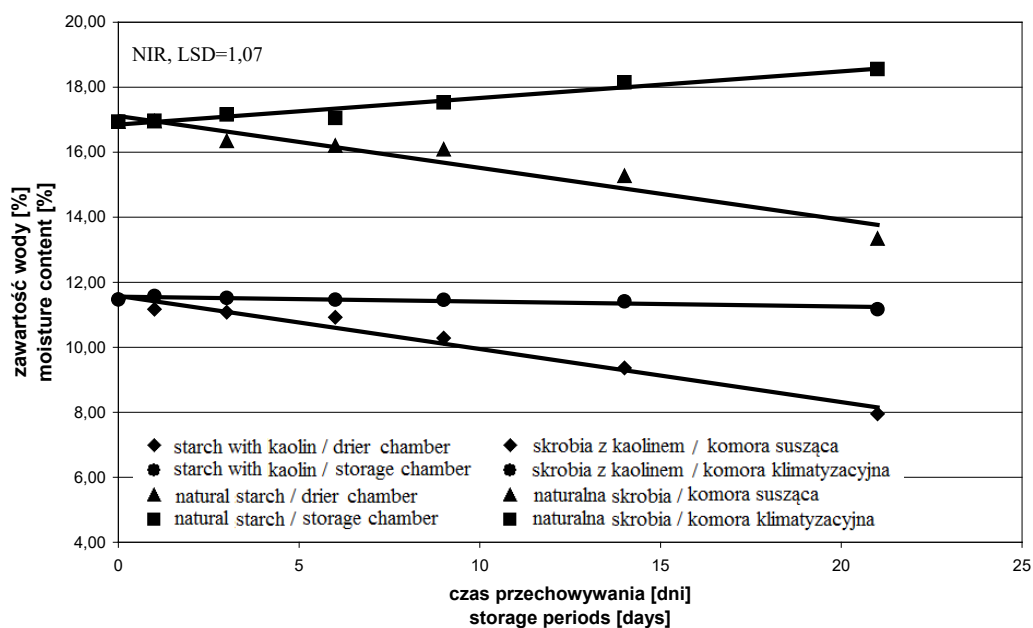
gdzie:

M_g — moment gnący (Nm), y — odległość pomiędzy punktami podparcia (m), x — długość krótszego fragmentu ekstrudatu (m), F_{\min} — minimalna siła niezbędna do zniszczenia ekstrudatu (N)

Otrzymane wyniki analiz poddano obliczeniom statystycznym przy użyciu programu Statistica v. 10.0. Przeprowadzono jednokierunkową i trzyczynnikową analizę wariancji i wyznaczono grupy homogeniczne za pomocą testu Duncana przy poziomie ufności $p \leq 0,05$.

OMÓWIENIE I DISKUSJA WYNIKÓW

Wilgotność ekstrudatów zależała od dodatku do skrobi kaolinu, warunków oraz czasu przechowywania i wahała się w przedziale 7,95%–18,56% (rys. 1). Zdolność chłonięcia wody przez ekstrudaty wytworzone z mieszaniny skrobi naturalnej i kaolinu była niższa (10,88%) niż ekstrudatów wytworzonych tylko ze skrobi (16,68%). Podczas przechowywania ekstrudatów w suszarce zaobserwowano znaczące obniżenie zawartości wody zarówno w ekstrudatach wytworzonych z samej skrobi, jak i z mieszanki skrobi z kaolinem. Przechowywanie preparatów w komorze klimatycznej powodowało zwiększenie ilości wody w nich zawartej, ale tylko w przypadku ekstrudatów wytworzonych z skrobi bez dodatku kaolinu. W przypadku ekstrudatów wytworzonych ze skrobi z dodatkiem kaolinu nie zaobserwowano istotnych statystycznie zmian zawartości wody w czasie przechowywania w warunkach dużej wilgotności. Zjawisko to można wytłumaczyć bardzo dobrą dyspersją nierozpuszczalnego kaolinu w wytworzonym produkcie. W procesie ekstruzji skrobi z kaolinem powstaje kompozyt o jednorodnej strukturze, która w wyniku obecności glinokrzemianu nabiera bardziej hydrofobowego charakteru, co ogranicza zdolność pochłaniania wody (Tharanathan, 2005; Mbey i in., 2012).



Rys. 1. Zawartość wody w ekstrudowanych preparatach skrobi ziemniaczanej w zależności od czasu oraz warunków przechowywania

Fig. 1. Moisture content of extruded potato starch, depending on time and conditions of storage

Tabela 1

Stopień ekspansji ekstrudatów wytworzonych z naturalnej skrobi ziemniaczanej i z mieszanin naturalnej skrobi ziemniaczanej z kaolinem
The expansion ratio of extruded native potato starch and native potato starch with kaolin

Rodzaj skrobi The kind of starch	Warunki przechowywania Storage conditions	Czas przechowywania The time of storage							Średnia (rodzaj skrobi) Average (the kind of starch)	Średnia (warunki przechowywania) Average (storage conditions)
		0	1	3	6	9	14	21		
Skrobia ziemniaczana naturalna	komora susząca drying chamber	1,68	1,63	1,64	1,64	1,57	1,64	1,60	1,68	1,43
Natural potato starch	komora klimatyzacyjna climatic chamber	1,68	1,71	1,66	1,75	1,75	1,75	1,76		
Skrobia ziemniaczana z kaolinem	komora susząca drying chamber	1,26	1,24	1,23	1,20	1,23	1,20	1,22	1,23	1,48
Natural potato starch with kaolin	komora klimatyzacyjna climatic chamber	1,26	1,24	1,26	1,24	1,23	1,24	1,23		
Średnia (czas) Average (the time)		1,47	1,46	1,45	1,46	1,44	1,46	1,45	NIR, LSD = 0,08	

Stopień ekspansji jest wielkością, która zależy od: parametrów ekstrudera (np. rodzaju i wielkości zastosowanej dyszy, ślimaka), od parametrów procesu ekstruzji (np. temperatury procesu, prędkości obrotowej ślimaka i szybkości podawania materiału), a także od składu ekstrudowanej mieszanki (Tomaszewska-Ciosk i in., 2009). Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 1. stopień ekspansji uzyskanych ekstrudatów zawierał się w przedziale od 1,20 do 1,76 i zależał od składu ekstrudowanego materiału oraz od warunków przechowywania. Ekstrudaty wytworzone z mieszaniny skrobi z kaolinem cechowały się znacznie niższą ekspansją (1,23) w porównaniu do ekstrudatów wytworzonych z skrobi naturalnej (1,68). Kaolin podczas procesu ekstruzji nie ulega uplastycznieniu, dlatego jego dodatek do skrobi skutkuje obniżeniem lepkości ekstrudowanej mieszaniny i w konsekwencji prowadzi do obniżenia ekspansji gotowego produktu. Wcześniejsze badania wskazują, że stopień ekspansji ekstrudatów wytworzonych z mieszaniny zawierającej 10–20% kaolinu w warunkach niskotemperaturowej ekstruzji był zbliżony do wyników uzyskanych w ekstrudatach z skrobi bez dodatków, przy wyższych udziałach kaolinu (ponad 20%) stopień ekspansji ulegał obniżeniu (Drożdż i in., 2004). Bhatnagar i Hanna (1996) stwierdzają również, że większe dodatki innych substancji mineralnych (talku) wpływały na wyraźne obniżenie stopnia ekspansji ekstrudatów.

Z danych zawartych w tabeli 2 i 3 wynika, że właściwości mechaniczne badanych ekstrudatów (odkształcenie i moment gnący) zależały od dodatku do skrobi kaolinu, warunków oraz czasu przechowywania.

Tabela 2

Wartość odkształcenia przy złamaniu ekstrudatów wytworzonych z naturalnej skrobi ziemniaczanej i z mieszanin naturalnej skrobi ziemniaczanej z kaolinem

The elongation of extruded native potato starch and native potato starch with kaolin at breaking

Rodzaj skrobi The kind of starch	Warunki przechowywania Storage conditions	Czas przechowywania The time of storage							Średnia (rodzaj skrobi) Average (the kind of starch)	Średnia (warunki przechowywania) Average (storage conditions)
		0	1	3	6	9	14	21		
Skrobia ziemniaczana naturalna	komora susząca drying chamber	4,04	8,04	10,01	11,49	12,42	14,32	17,03	10,22	8,43
Natural potato starch	komora klimatyzacyjna climatic chamber	4,04	7,04	8,24	10,09	11,35	12,36	12,60		
Skrobia ziemniaczana z kaolinem	komora susząca drying chamber	1,98	4,09	5,92	5,23	6,49	8,36	8,60	4,86	6,65
Natural potato starch with kaolin	komora klimatyzacyjna climatic chamber	1,98	2,94	3,78	3,31	4,43	5,39	5,47		
Skrobia naturalna Natural starch	suszarka drier	5,53	6,99	7,53	8,67	10,11	10,92			
NIR, LSD =0,97										

Odkształcenie przy złamaniu ekstrudatów wytworzonych z mieszaniny skrobi naturalnej i kaolinu było ponad 2-krotnie niższe (4,83) niż ekstrudatów wytworzonych tylko ze skrobi naturalnej (10,22). Podobną tendencją charakteryzowała się wartość momentu gnącego.

Podczas przechowywania ekstrudatów w komorze suszącej zaobserwowano zwiększenie wartości odkształcenia przy złamaniu i momentu gnącego w porównaniu z wartościami tych parametrów otrzymanych w ekstrudatach przechowywanych w warunkach dużej wilgotności.

Tabela 3

Wartość momentu gnącego ekstrudatów wytworzonych z naturalnej skrobi ziemniaczanej i z mieszanin naturalnej skrobi ziemniaczanej z kaolinem
The bending moments of extruded native potato starch and native potato starch with kaolin

Rodzaj skrobi The kind of starch	Warunki przechowywania Storage conditions	Czas przechowywania The time of storage							Średnia (rodzaj skrobi) Average (the kind of starch)	Średnia (warunki przechowywania) Average (storage conditions)
		0	1	3	6	9	14	21		
Skrobia ziemniaczana naturalna	Komorze susząca drying chamber	33,45	43,77	65,16	92,10	83,91	114,67	121,34	76,01	67,89
Natural potato starch	komora klimatyzacyjna climatic chamber	33,45	40,57	69,23	82,69	79,01	95,09	109,71		
Skrobia ziemniaczana z kaolinem	komora susząca drying chamber	20,03	38,67	55,98	65,98	64,42	71,12	79,80	52,40	60,53
Natural potato starch with kaolin	komora klimatyzacyjna climatic chamber	20,03	30,97	47,32	50,88	58,05	57,90	72,45		
Średnia (czas) Average (the time)		26,74	38,50	59,42	72,91	71,35	84,70	95,83	NIR, LSD = 8,39	
		NIR, LSD = 10,02								

Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej potwierdzają także istotny wpływ czasu przechowywania na właściwości mechaniczne uzyskanych ekstrudatów.

Moment gnący preparatów i ich odkształcenie przy złamaniu po 21 dniach przechowywania wzrosły ponad 3-krotnie. Podobne wyniki otrzymali również Drożdż i Golachowski (2004). Wytworzone w ich pracy ekstrudaty z dodatkiem kaolinu były bardziej kruche niż ekstrudaty wytworzone ze skrobi ziemniaczanej bez dodatku kaolinu i pękały po przyłożeniu naprężenia rzędu kilku MPa (Drożdż i in., 2004). Inne wyniki otrzymali Carvalho i in. (2001), którzy ekstrudowali skrobię z dodatkiem kaolinu w obecności glicerolu. Preparaty wytworzone w takich warunkach charakteryzowały się zwiększeniem właściwości mechanicznych w próbach z udziałem kaolinu (Carvalho i in., 2001). Powyższe rozbieżności są spowodowane różnicami w składzie ekstrudowanych mieszanin. Efekt jaki wywiera dodatek kaolinu na właściwości mechaniczne może być całkowicie odmienny w zależności od rodzaju zastosowanego w eksperymencie plastyfikatora (Azwar i in., 2012). Podczas przechowywania w komorze klimatycznej powstały ekstrudaty charakteryzujące się bardziej delikatną, słabszą strukturą, w porównaniu do ekstrudatów przechowywanych w komorze suszącej. Obniżenie wartości mechanicznych ekstrudatów przechowywanych w warunkach dużej wilgotności prawdopodobnie jest powiązane z dużą absorpcją wody, częściowym rozpuszczeniem zdestrukturyzowanych łańcuchów i w konsekwencji rozluźnieniem struktury (Drożdż i in., 2010).

Tworzywa wytworzone na bazie skrobi z dodatkiem kaolinu charakteryzują się mniejszą wodochłonnością w porównaniu z tworzywami powstałymi ze skrobi naturalnej ziemniaczanej i mogą z powodzeniem zastąpić polimery syntetyczne w niektórych zastosowaniach (np. do produkcji doniczek do sadzonek czy naczyń jednorazowego użytku). W związku z obniżeniem właściwości mechanicznych i pogorszeniem ich wytrzymałości w trakcie przechowywania konieczne jest wzbogacenie ekstrudowanej mieszanki skrobi i kaolinu glicerolem. Związek ten będzie pełnił rolę plastyfikatora i prawdopodobnie znacząco poprawi właściwości mechaniczne.

WNIOSKI

1. Właściwości badanych preparatów różniły się w zależności od rodzaju ekstrudowanej mieszanki oraz czasu i warunków przechowywania.
2. Ekstrudaty wytworzone z mieszanki naturalnej skrobi ziemniaczanej z dodatkiem kaolinu charakteryzowały się mniejszą ekspansją, mniejszym pochłanianiem wilgoci oraz mniejszym odkształceniem w chwili złamania i mniejszym momentem gnącym w porównaniu z ekstrudatami wytworzonymi z naturalnej skrobi ziemniaczanej.
3. Preparaty przechowywane w warunkach większej wilgotności odznaczały się większym stopniem ekspansji, oraz mniejszym odkształceniem i mniejszym momentem gnącym w stosunku do preparatów przechowywanych w niższej wilgotności.
4. Wraz ze wzrostem czasu przechowywania wzrastała w ekstrudatach zawartość wody oraz odkształcenie przy złamaniu i moment gnący.

LITERATURA

- Averous L., Boquillon N. 2004. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours, *Carbohydr. Polym.* 56, (2): 111 — 122.
- Azwar E., Hakkarainen M. 2012. Tuning the mechanical properties of tapioca starch by plasticizers, *Inorganic Fillers and Agrowaste-Based Fillers*, ISRN Polymer Science, ID 463298.
- Bhatnagar S, Hanna M. A. 1996. Effect of talc on properties of corn starch extrudates. *Starch — Stärke* 48, (3): 94 — 101.
- Carvalho A. J. F., Curvelo A. A. S., and Agnelli J. A. M. 2001. A first insight on composites of thermoplastic starch and kaolin. *Carbohydr. Polym.* 45: 189 — 194.
- Cheyne A., Barnes J., Gedney S., Wilson D. I. 2005. Extrusion behaviour of cohesive potato starch pastes: II. Microstructure — process interactions, *J. Food Eng.* 66: 13 — 24.
- Czerniawski B., Michniewicz J. 1998. *Opakowania żywności*. Wydawnictwo Agro Food Technology: 927 — 931.
- Drożdż W., Golachowski A. 2004. The properties of extrudates produced from potato starch with an addition of kaolin. In: *Starch: From starch containing sources to isolation of starches and their applications*. Nova Science Publishers, Inc. New York: 231 — 239.
- Drożdż W., Boruckowski T., Tomaszewska-Ciosk E., Boruckowska H., Zdybel E. 2010. The characteristics of extruded starch capsules for yeast immobilization. *Osiągnięcia Naukowo-Techniczne w Słodownictwie i Browarnictwie*: 214 — 224.
- Golachowski A., Tokarczyk A., Tomaszewska-Ciosk E., Zięba T., Figiel A. 2004. Właściwości skrobi ekstrudowanej z dodatkiem szkła wodnego, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 500: 547 — 556.

- González R., J., Torres R. J., Greef D. M., Guadalupe B. A. 2006. Effects of extrusion conditions and structural characteristics on melt viscosity of starchy materials, *J. Food Eng.* 74, 96 — 107.
- Hagenimana A., Ding X., Fang T., 2006, Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking, *J. Cereal Sci.*, 43: 38 — 46.
- Lai L. S., Kokini J. L. 1991. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). *Biotechnol. Prog.* 7, 251 — 266.
- Leszczyński W. 1999. Biodegradowalne tworzywa opakowaniowe. *Biotechnologia* 2: 50 — 61.
- Leszczyński W. 2004. Skrobia — surowiec przemysłowy, budowa i właściwości. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, zeszyt 500: 69 — 98.
- Mbey J. A., Hoppe S., Thomas F. 2012. Cassava starch-kaolinite composite film. Effect of clay content and clay modification on film properties. *Carbohydr. Polym.* 88, (1), 213 — 222.
- Polnaya F. J., Talahat J., Marseno H., Marseno D. W. 2012. Properties of biodegradable films from hydroxypropyl sago starches. *As. J. Food Ag-Ind.* 5, (03): 183 — 192.
- Śmietana Z., Szpendowski J., Soral-Śmietana M., Świgoń J. 1996. Modification of potato starch by extrusion, *Acta Academiae Agriculturae AC Technicae Olstenensis, Technologia Alimentorum* 29: 3 — 13.
- Tharanathan R. N. 2005. Starch-value addition by modification, *Crit. Rev. Food Sci.*, 45, (5), 371 — 384
- Thymi S., Krokida M. K., Pappa A., Maroulis Z. B. 2005. Structural properties of extruded corn starch. *J. Food Eng.* 68: 519 — 526.
- Tomaszewska-Ciosk E., Golachowski A., Boruckowska H. 2009. The properties of extrudates obtained from potato starch during one — and twofold extrusion process. In *Food Technology Operations, New Vistas*. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu Ed. by Kopec W. Korzeniowska M.: 189 — 196.