

**EWA ZDYBEL**  
**EWA TOMASZEWSKA-CIOSK**  
**MONIKA ROMAŃCZUK**  
**WIOLETTA DROŹDŹ**  
**HANNA BORUCZKOWSKA**  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Katedra Technologii Rolnej i Przechowalnictwa

## Określenie właściwości termoizolacyjnych przegród wytworzonych z acetylowanej skrobi ziemniaczanej

### Determination of thermal insulation properties of partitions produced using acetylated potato starch

Celem pracy była próba wytworzenia materiału biodegradowalnego ze skrobi ziemniaczanej naturalnej i acetylowanej oraz zbadanie przewodności cieplnej uzyskanego materiału. Naturalną skrobię ziemniaczaną, skrobię acetylowaną oraz ich mieszankę poddano ekstruzji w trzech różnych temperaturach. Uzyskano materiał ekstrudowany w kształcie kulek, z których wykonano sztywne kształtki o grubości 20 mm. W celu sprawdzenia przewodności cieplnej badanego materiału zmierzono czas wyrównania temperatury po obu stronach warstwy skrobi naturalnej, acetylowanej, ekstrudowanej oraz po obu stronach wykonanych kształtek. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono że, kształtka uformowana z naturalnej ziemniaczanej skrobi ekstrudowanej charakteryzuje się niższą przewodnością cieplną w stosunku do luźno ułożonych kulek skrobi ekstrudowanej. Ekstruzja wykonana w temperaturach 140, 150, 170°C umożliwia otrzymanie prób charakteryzujących się szybszym tempem przenikania ciepła w porównaniu z próbami uzyskanymi w wyniku ekstruzji w niższych temperaturach. Ekstrudaty uzyskane z mieszanki (1:1) skrobi ziemniaczanej i acetylowanej oraz wyłącznie ze skrobi ziemniaczanej acetylowanej charakteryzują się wyższą opornością cieplną w porównaniu z ekstrudatami uzyskanymi z naturalnej skrobi ziemniaczanej.

**Słowa kluczowe:** skrobia ziemniaczana, skrobia acetylowana, przewodność cieplna

The aim of this study was an attempt to produce and determine the thermal insulation properties of biodegradable materials produced using potato starch and acetylated potato starch. Natural potato starch, acetylated potato starch and their mixture were subjected to extrusion at three different temperatures. Extruded material was obtained in the form of beads. In addition, the extruded starch was formed into rigid shapes with a thickness of 20 mm. In order to verify the thermal conductivity we measured the time in which the temperature rise by heating the tested material (beads and rigid shapes) at a specific thickness. As a result of the experiment it was stated that shapes, which were made from extruded natural potato starch, had a lower thermal conductivity comparing to the loose beads of the extruded starch. Among the extruded starch, that starch that was extruded at temperatures 140, 150,

170°C, showed highest thermal conductivity. The natural extruded potato starch comparing to the acetylated extruded starch or mixture natural and acetylated (1:1) extruded potato starch is characterized by a highest thermal conductivity.

**Key words:** potato starch, acetylated starch, thermal conductivity

#### WSTĘP

W wyniku dynamicznego rozwoju światowego handlu, gospodarki, technologii i przemysłu zaobserwowano w ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci znaczny wzrost produkcji opakowań. Powszechnie stosowanymi materiałami do produkcji opakowań są tworzywa syntetyczne produkowane w większości z frakcji ropy naftowej metodami syntezy chemicznej (Bednarski i in., 1997). Tworzywa te charakteryzują się cennymi właściwościami użytkowymi. Są trwałe i wytrzymałe, odporne na starzenie, czynniki środowiskowe i chemiczne (Urbaniak, 2003 a, b; Jurga, 2004). Ponadto cechuje je niski koszt produkcji oraz łatwość wytworzenia i formowania. Głównym problemem związanym z użytkowaniem tworzyw sztucznych spowodowany jest niemożliwością rozłożenia ich w środowisku naturalnym. Wraz ze wzrostem wykorzystywania tych tworzyw, z roku na rok wzrasta ilość kumulowana w środowisku jako odpady trwałe, co z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia stanowi poważny problem w związku z ich zagospodarowaniem i utylizacją (Lewandowicz i in., 1994; Szostak-Kotowa, 2000).

Problemy techniczne i ekonomiczne jakie wiążą się z recyklingiem materiałowym odpadów opakowaniowych skłaniają badaczy do poszukiwania nowych tworzyw podatnych na recykling organiczny tj. obróbkę tlenową (kompostowanie) lub beztlenową (biometanizacja). Poszukiwane są sposoby wyprodukowania surowców ulegających biodegradacji, które mogłyby zastąpić używane dotychczas tworzywa sztuczne (Żakowska, 2001; 2003). Polimery biodegradowalne otrzymuje się z odtwarzalnych surowców roślinnych oraz na drodze procesów chemicznych. Ulegają one szybkiemu rozkładowi i mineralizacji pod wpływem działania mikroorganizmów (Rojek, 2007). Innym sposobem przyspieszenia procesów biodegradacji jest wprowadzenie do polimeru syntetycznych dodatków, które pod wpływem czynników środowiskowych inicjują procesy rozkładu tworzywa (Walkowski, 1992). Dodatki te ulegając biodegradacji sprawiają, że zmniejsza się masa oraz rozluźnia struktura pozostałej części tworzywa, ta zaś dzięki temu dużo łatwiej poddaje się dezintegracji. Jednym ze sposobów uzyskania tworzywa częściowo biodegradowalnego jest zastosowanie skrobi naturalnej lub modyfikowanej jako dodatku do polimerów syntetycznych (Leszczyński, 1998).

Skrobia może być rozkładana przez szereg mikroorganizmów wytwarzających enzymy amylolityczne, w wyniku czego może ulec pełnej biodegradacji w środowisku naturalnym. Cecha ta obok dostępności i rozpowszechnienia jest główną przyczyną wykorzystywania skrobi do produkcji tworzyw biodegradowalnych, których właściwości mogą być zmienne w zależności od użytego rodzaju skrobi (Bagley i in., 1992), od wielkości wprowadzonej dawki do tworzywa (Leszczyński, 1995), od stosunku amylozy do amylopektyny w cząsteczce (Colonna i in., 1995), oraz od wielkości jej gałeczek (Lim i in., 1992). Wpływ na efekt biodegradowalności ma również to, w jakiej postaci występowała zastosowana

skrobia. Może to być postać nieprzetworzona (naturalna), skrobia modyfikowana chemicznie lub fizycznie, skompleksowana z substancjami syntetycznymi lub o właściwościach termoplastycznych zmienionych w wyniku zastosowania procesu ekstruzji (Golachowski i in., 1997).

Ekstruzja jest procesem mechaniczno-termicznym polegającym na mieszaniu sypkich surowców pochodzenia roślinnego, poddawaniu ich działaniu wysokiej temperatury (do 200–250°C) oraz wysokiemu ciśnieniu (do 20–25MPa) i w stosunkowo krótkim czasie (ok. 1–2 minuty) wytłaczaniu na skutek gwałtownego obniżenia ciśnienia (Opydo i in., 1994; Kapelko i in., 2007). Proces ten przeprowadzany jest w ekstruderze, urządzeniu o działaniu ciągłym, oddziałującym na przetwarzany materiał dużymi siłami ścinającymi. Głównym elementem ekstrudera jest obracający się ślimak, mający za zadanie transport materiału oraz przetłoczenie go pod wysokim ciśnieniem przez drobne otwory dyszy umieszczonej na końcu cylindra otoczonego płaszczem grzejnym oraz chłodzącym (Jamroz i in., 1994; Mościcki, 2003 a,b). Geometria ekstrudera, skład mieszanki ekstrudowanej oraz warunki procesu istotnie wpływają na właściwości otrzymanego produktu (Jamroz i in., 1994).

Skrobiowe produkty ekstrudowane mają dwojakie zastosowanie przy produkcji opakowań biodegradowalnych. Stosuje się je m.in. do wytwarzania folii oraz pianek, z tym, że produkcja folii jest w tym przypadku osłabiona z uwagi na gorsze właściwości mechaniczne (obniżona elastyczność) oraz podwyższoną wodochłonność i rozpuszczalność mieszanin tworzyw syntetycznych ze skrobią. Aspekt ten nie ma jednak znaczenia przy produkcji pianek nie mających styczności z wilgocią, stosowanych do wypełniania pustych przestrzeni opakowań w celu zabezpieczenia produktu przed urazami mechanicznymi oraz jako izolator termiczny. Pianki takie mogą zawierać nawet do 95% skrobi (Leszczyński, 1998). Pianki zawdzięczają swoje właściwości izolacyjne unieruchomieniu powietrza w małych zamkniętych porach. Im mniejsza jest objętość powietrza zamkniętego w oddzielnych porach, tym lepsze właściwości termoizolacyjne posiada materiał. Skrobia ekstrudowana w odpowiedniej temperaturze cechuje się lekką i napowietrzoną strukturą. W takiej formie (w ilości około 20%) dodaje się skrobię także przy wyrobie pianek poliuretanowych, stosowanych obecnie głównie jako materiał izolacyjny m.in. w budownictwie i urządzeniach chłodniczych (Leszczyński, 1995). Ciekawym zagadnieniem jest możliwość wykorzystywania skrobi do produkcji biodegradowalnego materiału opakowaniowego charakteryzującego się niską przewodnością cieplną dzięki czemu będzie mógł być stosowany jako opakowanie dla produktów wrażliwych na zmiany temperaturowe. Celem pracy było zbadanie właściwości przewodnictwa cieplnego skrobi ziemniaczanej, naturalnej i acetylowanej oraz preparatów skrobi ekstrudowanej, a także próba wytworzenia biodegradowalnych przegród termoizolacyjnych z zastosowaniem badanych skrobi.

#### MATERIAŁY I METODY

Materiał badań stanowiła skrobia ziemniaczana wyprodukowana przez Przedsiębiorstwo Przemysłu Spożywczego PEEPES S.J. w Łomży w 2010r oraz skrobia acetylowana wyprodukowana w firmie Hortimex w roku 2010.

## **Przebieg doświadczenia**

### Ekstruzja

Preparaty do ekstruzji nawilżano do wilgotności 25%. W celu równomiernego rozprowadzenia wilgoci preparaty mieszano oraz przesiewano przez sito (wielkość oczek 1 mm). Tak przygotowane próby kondycjonowano w szczelnie zamkniętych pojemnikach przez 24 godziny. Bezpośrednio przed procesem ekstruzji próby mieszano. Ekstruzję przeprowadzano na laboratoryjnym, jednoślakowym ekstruderze firmy Brabender, typ 20DN. Użyto ślimaka o stopniu sprężenia 2:1, dyszy okrągłej o średnicy 2 mm, oraz noża do cięcia materiału opuszczającego dyszę ekstrudera. Prędkości obrotów wynosiły: ślimaka — 90 do 170 obr./min., podajnika — 20 do 40 obr./min., noża — 120–180 obr./min. Ekstruzji poddano skrobię ziemniaczaną naturalną, skrobię ziemniaczaną acetylowaną oraz mieszaninę (1:1) skrobi naturalnej ze skrobą acetylowaną. Zastosowano trzy warianty temperaturowe procesu ekstruzji stosując w strefie załadowniczej, strefie uplastycznienia i strefie głowicy ekstrudera temperatury odpowiednio:

- wariant I — 50°C, 60°C, 70°C,
- wariant II — 90°C, 100°C, 120°C,
- wariant III — 140°C, 150°C, 170°C. W wyniku ekstruzji uzyskano materiał w formie kulek o średnicy 4–7 mm.

### Wytworzenie przegród termoizolacyjnych

Skrobię ekstrudowaną naważano do plastikowych cylindrów biorąc pod uwagę objętość zajmowaną przez kulki, następnie próbkę przenoszono do krystalniczki i zwilżano wodą destylowaną w ilości 5% w stosunku do masy materiału (w przeliczeniu na suchą masę). Próbkę mieszano dla równomiernego zwilżenia całego materiału i przenoszono powtórnie do plastikowego cylindra. Kulki ubijano tłokiem aby równomiernie upakować i ujedlinić strukturę kształtki. W celu pozostawienia przestrzeni na termoparę wewnątrz zastygającej próbki umieszczano w jej centrum metalowy bolec o średnicy równej średnicy termopary, sięgający do geometrycznego środka kształtki. Następnie kształtki w cylindrach pozostawiano w temperaturze pokojowej na 12 godzin do wyschnięcia i całkowitego połączenia się próbki w zwartą strukturę.

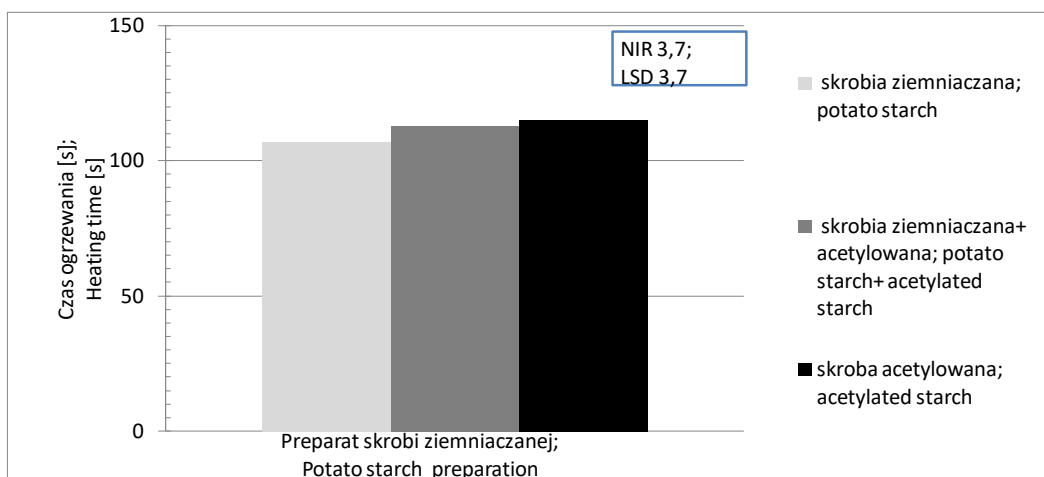
### Badanie przewodności cieplnej

Skrobię ekstrudowaną w postaci kulek lub przegrody termoizolacyjne wytworzone ze skrobi ekstrudowanej umieszczano w miedzianym cylindrze i przykrywano warstwą izolującą. We wnętrzu próby umieszczano termoparę, tak aby próba otaczała zakończenie termopary w równomiernym stopniu z każdej strony. Tak przygotowany cylinder umieszczano w łaźni wodnej o temperaturze 30°C i przetrzymywano do momentu ustalenia się temperatury 30°C wewnątrz próbki. Następnie cylinder wraz z termoparą podłączoną do elektronicznego termometru przenoszono do łaźni wodnej o temperaturze 70°C z równoczesnym uruchomieniem stopera. Badanym parametrem był czas w jakim próbka podgrzała się w łaźni o 5°C. Badanie prowadzono w trzech zakresach temperatur: 35°C–40°C, 40°C–45°C, 45°C–50°C. Pomiary powtórzono ośmiokrotnie dla wszystkich rodzajów przegród. Uzyskane wyniki analizowano statystycznie stosując program STATISTICA 9.0. Zastosowano trzyczynnikową, jednokierunkową analizę wariancji.

Istotność różnic pomiędzy obliczonymi średnimi wartościami otrzymanych wyników określono na podstawie wyznacznika najmniejszej istotnej różnicy (NIR).

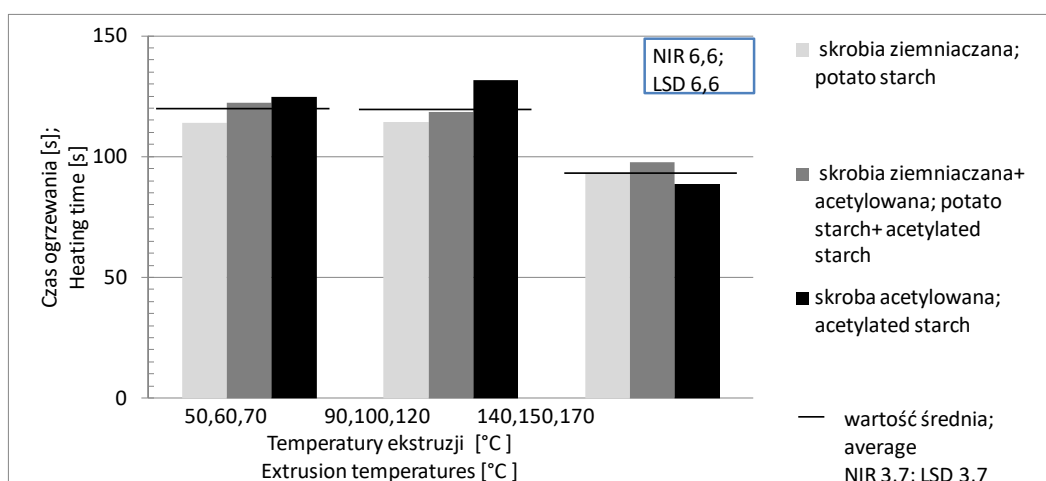
#### WYNIKI

Na rysunkach 1–3 przedstawiono wpływ rodzaju skrobi, zastosowanych temperatur ekstruzji oraz zakresów temperatur, w których wykonano badanie na czas wyrównania temperatury w warstwie skrobi ekstrudowanej. Rysunek 1. przedstawia czas przenikania ciepła przez skrobię ekstrudowaną w postaci kulek o różnym składzie mieszanki ekstrudowanej.

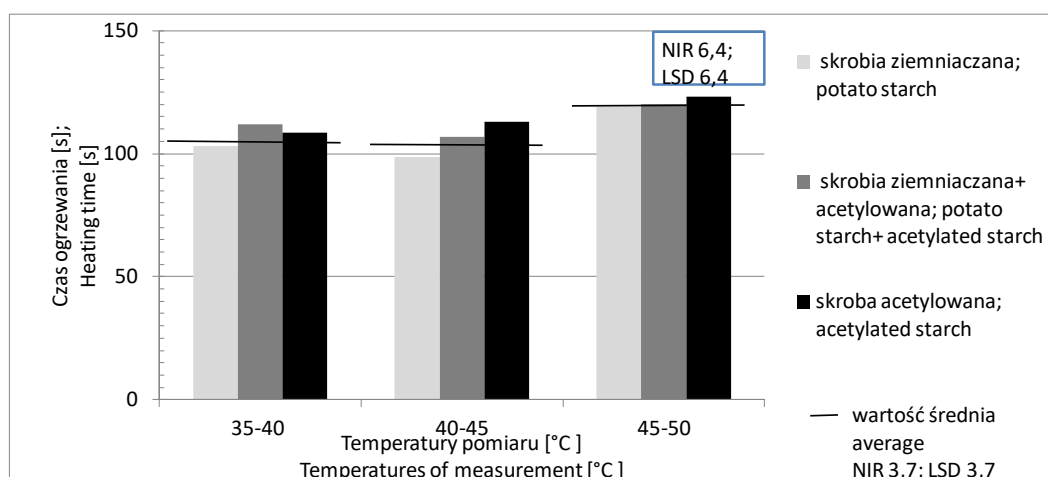


**Rys. 1. Czas ogrzewania warstwy w zależności od preparatu skrobi ekstrudowanej**  
**Fig. 1. Heating time of extruded starch layer depending on potato starch preparation**

Najniższą opornością cieplną charakteryzowała się skrobia ziemniaczana naturalna (107s). Mieszanka skrobi naturalnej i acetylowanej (1:1) oraz skrobia acetylowana nie różniły się istotnie czasem przenikania ciepła, który mieścił się w przedziale 113–115s. Rysunek 2 przedstawia wykres zależności czasu ogrzewania skrobi ekstrudowanej w postaci kulek wytworzonych z 3 preparatów skrobi ziemniaczanej w zależności od przeprowadzonego wariantu procesu ekstruzji. Istotnie najdłuższym czasem przenikania ciepła (131s) charakteryzowała się skrobia acetylowana otrzymana w II wariacie ekstruzji (90/100/120°C). Wśród badanych preparatów skrobi zastosowanie najwyższych temperatur ekstruzji powodowało istotny wzrost szybkości przenikania ciepła przez próbki (93s). Rysunek 3 przedstawia zależność czasu ogrzewania próbek w różnych przedziałach temperatur. Próby ulegały podgrzewaniu istotnie najdłużej w zakresie temperatur 45–50°C (121s).



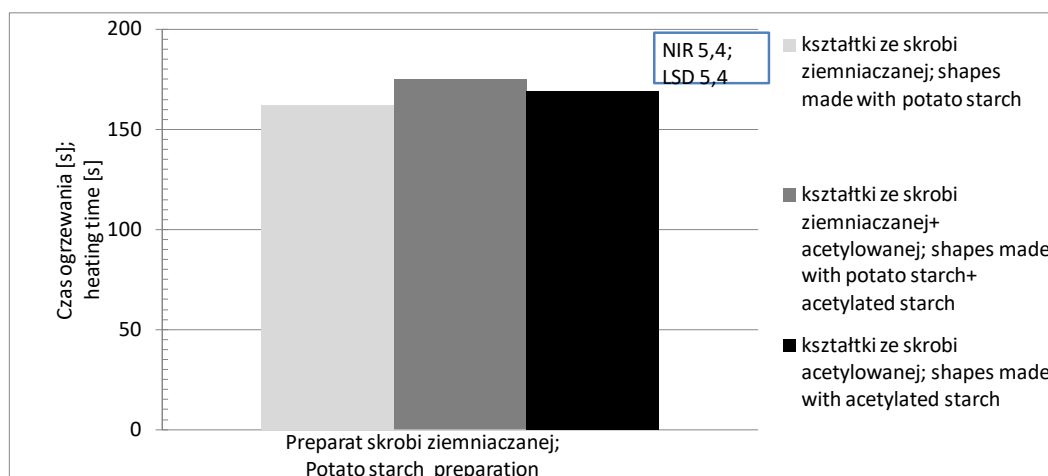
**Rys. 2. Czas ogrzewania warstwy w zależności od preparatu skrobi ekstrudowanej i wariantu ekstruzji**  
**Fig. 2. Heating time of extruded starch layer depending on potato starch preparation and extrusion temperatures**



**Rys. 3. Czas ogrzewania warstwy w zależności od preparatu skrobi ekstrudowanej i temperatury pomiaru**  
**Fig. 3. Heating time of extruded starch layer depending on potato starch preparation and temperatures of measurement**

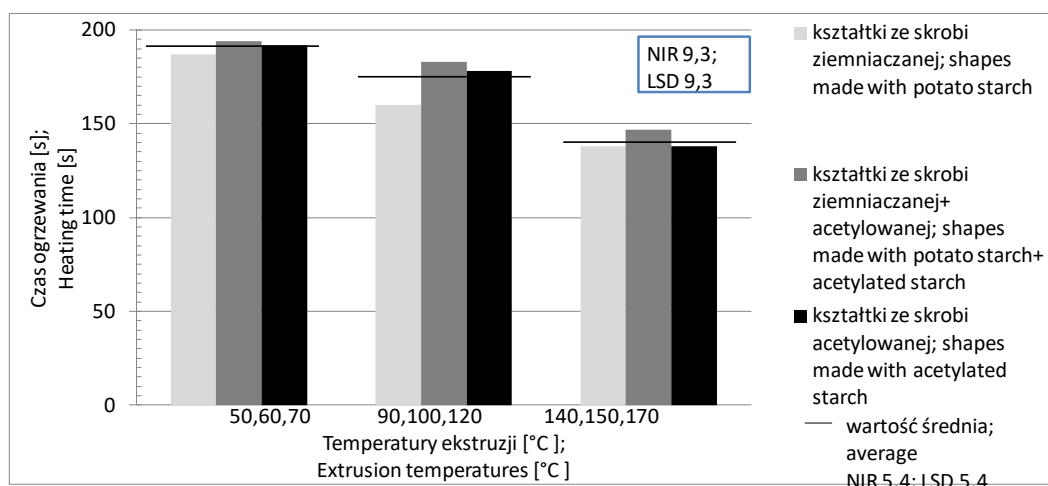
Na rysunkach 4–6 przedstawiono wpływ rodzaju preparatu skrobiowego, zastosowanych temperatur ekstruzji oraz zakresów temperatur, w których wykonano badanie, na czas wyrównania temperatury w kształtce wykonanej ze skrobi ekstrudowanej. Podobnie jak w przypadku skrobi ekstrudowanej istotnie krótszym czasem przenikania ciepła spośród kształtek wykonanych z naturalnej skrobi ziemniaczanej, mieszaniny skrobi

ziemniaczanej z acetylowaną oraz acetylowanej charakteryzowały się kształtki wykonane z ekstrudowanej skrobi ziemniaczanej (162s) (rys. 4).



Rys. 4. Czas ogrzewania kształtek w zależności od preparatu skrobi ziemniaczanej

Fig. 4. Heating time of shapes depending on potato starch preparation

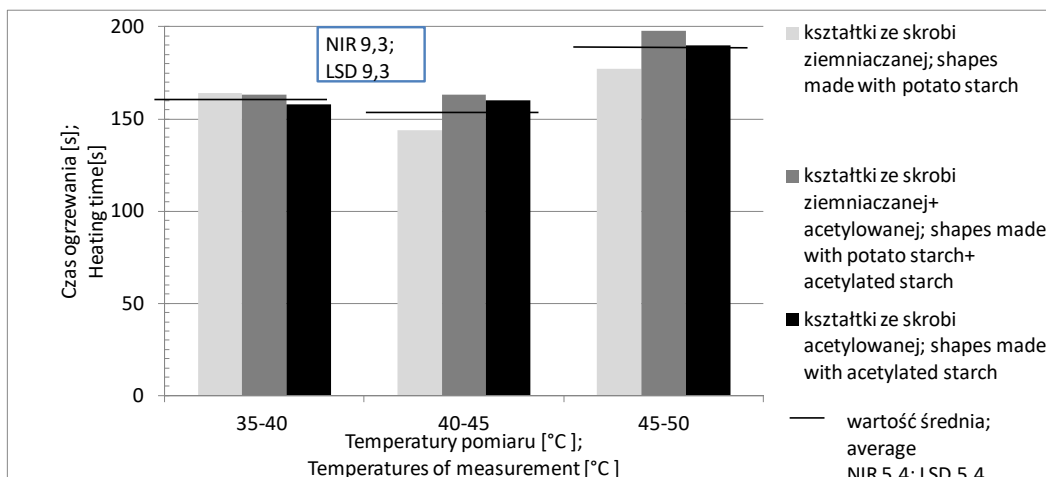


Rys. 5. Czas ogrzewania kształtek w zależności od preparatu skrobi ziemniaczanej i wariantu ekstruzji

Fig. 5. Heating time of shapes depending on potato starch preparation and extrusion temperatures

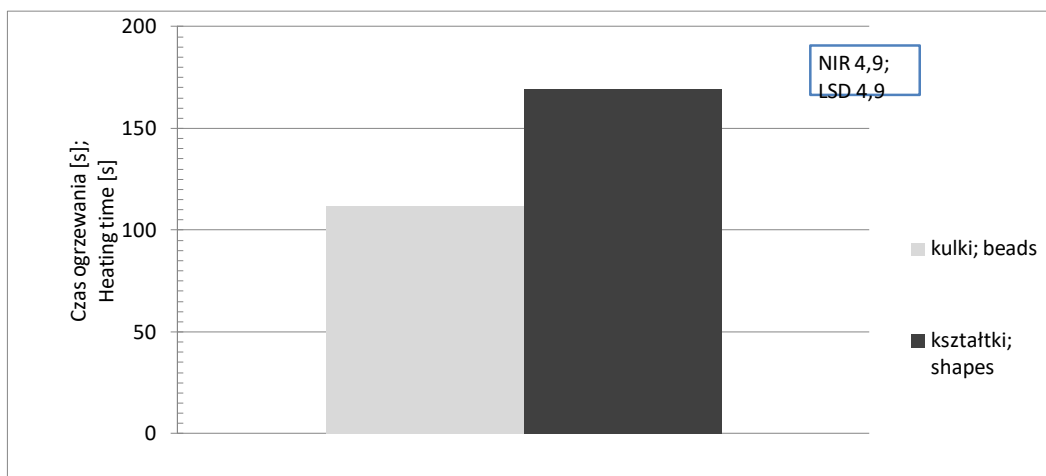
Na rysunku 5 przedstawiono zależność czasu w jakim następowało wyrównanie temperatury w kształtkach w zależności od rodzaju preparatu skrobiowego, z którego wykonano kształtki i od przeprowadzonego wariantu procesu ekstruzji. Wraz ze wzrostem zastosowanej temperatury ekstruzji istotnemu skróceniu ulegał czas ogrzewania kształtek. Jedynie w przypadku ekstruzji wykonanej w temperaturach 90, 100, 120°C stwierdzono istotne różnice wynikające z zastosowanego rodzaju preparatu skrobiowego. Spośród

kształtek wykonanych w tych temperaturach ekstruzji najkrótszym czasem ogrzewania charakteryzowały się kształtki wykonane ze skrobi ziemniaczanej (160s). Na rysunku 6. przedstawiono czas ogrzewania kształtek wykonanych z różnych skrobi mierzony w różnych zakresach temperatur.



Rys. 6. Czas ogrzewania kształtek w zależności od preparatu skrobi ziemniaczanej i temperatury pomiaru

Fig. 6. Heating time of shapes depending on potato starch preparation and temperatures of measurement



Rys. 7. Czas ogrzewania warstwy skrobi ekstrudowanej w zależności od jej postaci

Fig. 7. Heating time of extruded starch layer and shapes

Próby istotnie dłużej ulegały podgrzewaniu w najwyższym zakresie temperatur (188s). Najkrótszym czasem potrzebnym na podgrzanie próbki o wymagane 5°C charakteryzował się średnio przedział temperatur 40–45°C (156s). W przedziale tym statystycznie



najszybciej podgrzanie nastąpiło w kształtkach wykonanych z naturalnej skrobi ziemniaczanej (144s).

Na rysunku 7 przedstawiony jest czas przenikania ciepła przez skrobie ekstrudowane oraz kształtki wykonane z tych skrobi. Kształtki odznaczają się statystycznie wolniejszym tempem przewodzenia ciepła w porównaniu ze skrobią ekstrudowaną.

#### DYSKUSJA

Fizyczna modyfikacja skrobi poprzez ekstruzję wywołuje istotne zmiany w strukturze skrobi (Michniewicz i in., 1993; Śmietana i in. 1996; Jamroz i in., 1998). Proces ten polegający na poddawaniu materiału wysokiej temperaturze oraz wysokiemu ciśnieniu, a następnie wyłoczeniu powoduje, jak twierdzą m.in. Śmietana i in. (1997) otrzymanie skrobi zmodyfikowanej fizycznie o różnych właściwościach funkcjonalnych, które mogą być zróżnicowane w zależności od sposobu sterowania parametrami procesu ekstruzji i jak wykazano w tej pracy, powodować zmiany w stopniu przewodzenia ciepła przez badane próbki. Rodzaj ekstrudowanego materiału oraz dobór temperatury ekstruzji są istotnymi czynnikami wpływającymi na właściwości otrzymanych produktów (Jamroz i in., 1998; Mościcki 2003 a, b). W otrzymanych dziewięciu rodzajach preparatów ekstrudowanych czas podgrzewania próbek do pożądanych temperatur był różny. Biorąc pod uwagę, iż unieruchomienie powietrza w małych zamkniętych porach umożliwia lepsze wykorzystanie właściwości izolacyjnych materiałów (Leszczyński, 1995; Kostaropoulos i in., 1997), należałoby sądzić że skrobka ekstrudowana w trzecim wariancie temperaturowym (140/150/170°C) poprzez swój napowietrzony, lekki i objętościowo wyższy od pozostałych prób charakter odznaczy się lepszymi właściwościami hamującymi przewodzenie ciepła na tle pozostałych próbek. W uzyskanych wynikach skrobka ta wykazała się statystycznie dużo słabszą zdolnością do izolowania termicznego, bo podgrzanie do poszczególnych zakresów temperatur wymagało znacznie mniej czasu. Być może wynikało to ze zbyt dużej objętości porów w ekstrudacie. Kulki otrzymane w tym wariancie ekstruzji cechowały się niezwykle lekką strukturą, w porównaniu do skrobi z I i II ekstruzji można było umieścić ich mniej w cylindrze pomiarowym, aby uzyskać możliwie najbardziej zbliżoną objętość próbki, jak w poprzednich. Z uwagi na dużą objętość kulek przypuszczać można, że we wnętrzu ich dużych porów oraz pomiędzy kulkami zachodził prawdopodobnie proces konwekcji. To spowodowało, iż materiał ten stał się lepszym przewodnikiem niż izolatorem, bowiem im mniejsza objętość powietrza jest zamknięta w oddzielnych porach, tym mniejsza jest możliwość konwekcji, więc również większa termoizolacyjność (Ait Saada i in., 2007; Oztop i in., 2011). W tym przypadku można przypuszczać, że powietrze unoszące się od dołu próbki miało ułatwioną drogę, poprzez większe przestrzenie pomiędzy kulkami jakie można było zaobserwować w tej próbce. Ekstrudaty otrzymane w niższych wariantach temperaturowych (I i II) odznaczyły się lepszymi właściwościami izolującymi. Powodem tego mogło być bardziej efektywne upakowanie próbki w cylindrze, lecz z zachowaniem drobnych przestrzeni pomiędzy kulkami zatrzymującymi powietrze. Ciekawym rezultatem przeprowadzonego doświadczenia jest wpływ materiału poddawanego ekstruzji na poziom przewodzenia

ciepła przez produkt finalny oraz wybór wariantu temperaturowego ekstruzji. W większości próby ze skrobi acetylowanej oraz z mieszanki skrobi naturalnej i acetylowanej charakteryzowały się wyższą opornością na przenikanie ciepła, co widoczne jest szczególnie dla próbek otrzymanych w wyniku ekstruzji II. Ekstrudowana skrobia acetylowana w dwóch ostatnich przedziałach badania cechowała się wyraźnie dłuższym czasem przenikania ciepła na tle pozostałych prób. Potwierdza to wspomniany wcześniej prawdopodobny wpływ acetylacji na badane próby.

Również postać próbki skrobi ekstrudowanej w jakiej badana była przewodność cieplna miała istotne znaczenie w przeprowadzonym doświadczeniu. Próba z ekstrudatu w formie luźno upakowanych kulek statystycznie szybciej przewodziła ciepło, niż próba w postaci zwartych kształtek uformowanych z kulek, stanowiąca lepszą barierę izolującą. Zwilżanie zimną wodą destylowaną ekstrudatu w postaci kulek bezpośrednio przed ich ułożeniem w formie powodowało powierzchniowe rozpuszczenie się warstwy skrobi z uwagi na podwyższoną rozpuszczalność skrobi po ekstruzji (Kapelko i in., 2007). Kulki w trakcie suszenia w formach łączyły się ze sobą, dając w efekcie bardzo zagęszczoną kształtkę w formie walca, o średnicy takiej jak miedziany cylinder w zestawie pomiarowym. W porównaniu do kulek badanych luzem, kształtki z ekstrudatów odznaczały się statystycznie dużo wyższymi zdolnościami izolacyjnymi i czas ich podgrzewania do określonych temperatur był znacząco dłuższy od kulek badanych luzem. Fakt ten być może powodowały wolne przestrzenie pomiędzy ekstrudowanymi kulkami, do których przemieściła się część rozpuszczonej skrobi ekstrudowanej. Prawdopodobnie zapobiegało to unoszeniu się ciepła wewnątrz próbki, a właściwości termoizolacyjne uległy zwiększeniu bo nadal wewnątrz kształtek obecne były liczne pory wypełnione izolującym powietrzem wewnątrz kulek. Jednak utworzyły się również nowe pory, które powstały na skutek zaklejenia przerw pomiędzy kulkami w przestrzeni wzajemnego kontaktu. Okazało się zatem słuszne wykonanie preparatu ze skrobi ekstrudowanej nie tylko w postaci luźno ułożonych kulek, ale i zwartych kształtek. Wykorzystanie takiego typu materiału przykładowo jako biodegradowalne przegrody izolacyjne w materiałach opakowaniowych może nadać nowy wymiar i być wykorzystane przez przemysł opakowaniowy zmierzający do zwiększenia udziału biodegradowalnych komponentów w materiałach stosowanych do produkcji opakowań i tworzyw w kontakcie z żywnością.

Przeprowadzone badania przedstawiły nowy, interesujący pogląd na wykorzystanie skrobi, już nie tylko jako węglowodanu złożonego, cennego w diecie pokarmowej. Zauważono, iż modyfikacje tego polimeru prowadzić mogą do uzyskania materiałów do przyszłościowego zastosowania w wielu gałęziach przemysłu. Szczególnie jest to ważne ze względu na możliwość pozyskania materiałów o możliwie najmniejszej szkodliwości dla środowiska. Zdolność do izolowania cieplnego uwidoczniła się najlepiej w otrzymanych kształtkach ze skrobi ekstrudowanej, co jest cechą wartą głębszego przeanalizowania pod kątem zastosowania do produkcji materiałów termoizolacyjnych. Jest to nowy aspekt, a dotychczas nie prowadzono szczegółowych badań naukowych w tym zakresie, które mogłyby potwierdzić, że skrobia jako biodegradowalny i naturalnie łatwo dostępny surowiec może być materiałem który znajdzie swoje zastosowanie jako materiał termoizolacyjny.

### WNIOSKI

1. Możliwe jest wytworzenie termoizolacyjnych przegród ze skrobi modyfikowanej poprzez ekstruzję.
2. Skrobia ekstrudowana w postaci luźno ułożonych kulek przewodzi ciepło lepiej od zwartej kształtki z tego samego materiału.
3. Ekstruzja wykonana w temperaturach 140, 150, 170°C umożliwia otrzymanie prób, charakteryzujących się szybszym tempem przenikania ciepła w porównaniu z próbami uzyskanymi w wyniku ekstruzji w niższych temperaturach.
4. Ekstrudaty uzyskane z mieszanki (1:1) skrobi ziemniaczanej i acetylowanej oraz wyłącznie ze skrobi ziemniaczanej acetylowanej charakteryzują się wyższą opornością cieplną w porównaniu z ekstrudatami uzyskanymi z naturalnej skrobi ziemniaczanej.

### LITERATURA

- Ait Saada M., Chikh S., Campo A. 2007. Natural convection around a horizontal solid cylinder wrapped with a layer of fibrous or porous material. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28: 483 – 495.
- Bagley E.B., Christianson D.D., Fanta G.F., 1992. Complexes between starch and poly(ethylene-co-acrylic acid) – viscosity and gel rheology of jet-cooked dispersions. *Carbohydrate Polymers* 17: 221 – 226.
- Bednarski W., Lewandowicz A., Tomasiak J., Walkowicz A. 1997. Opakowania biodegradowalne aspekty technologiczne i ekologiczne. *Przemysł Spożywczy* 2: 33 – 35.
- Colonna P., Della Valle G., Lourdin D. 1995. Influence of amylose content on starch films and foams. *Carbohydrate Polymers* 27: 261 – 270.
- Golachowski A., Leszczyński W. 1997. Właściwości tworzywa sporządzonego z polietylenu i skrobi modyfikowanych chemicznie. *Żywność, Technologia, Jakość* 4 (13): 16 – 25.
- Jamroz J., Rogalski J. 1994. Determinanty wartości żywieniowej ekstrudatów. *Postępy Nauk Rolniczych* 1: 63 – 76.
- Jamroz J., Ciesielski W., Pielichowski K., Tomasiak P. 1998. Extrusion-cooking of potato starch and selected properties of the extrudates. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 7 (1): 89 – 97.
- Jurga R., 2004. Terminologia opakowań i odpadów opakowaniowych dla potrzeb praktycznego stosowania. *Przegląd Zbożowo Młynarski (Wybrane na podstawie materiałów z seminarium COBRO z dnia 29.06.2004)* 9: 15 – 17.
- Kapelko M., Zięba T., 2007. Właściwości ekstrudowanej skrobi ziemniaczanej modyfikowanej glicyną. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 5: 23 – 32.
- Kostaropoulos A.E., Sarvacos G.D. 1997. Thermal diffusivity of granular and porous foods at low moisture content. *Journal of Food Engineering* 33: 101 – 109.
- Leszczyński W. 1995. Zastosowanie skrobi w produkcji wybranych wyrobów niespożywczych. *Biuletyn Instytutu Ziemniaka* 45: 97 – 109.
- Leszczyński W. 1998. Zastosowanie skrobi do biodegradowalnych tworzyw opakowaniowych. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej We Wrocławiu* 328: 105 – 115.
- Lewandowicz G., Walkowski A. 1994. Tworzywa ekologiczne na bazie surowców skrobiowych. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny*, 7: 15 – 18.
- Lim S. T., Jane J. L., Rajagapalan S., Seib P. A. 1992. Effect of starch granule size on physical properties of starch-filled polyethylene film. *Biotechnology Progress* 8: 51 – 57.
- Michniewicz J., Obuchowicz W. 1993. Ekstruzja możliwość oddziaływania na cechy produktu. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 11: 5 – 7.
- Mościcki L. 2003 a. Ekstrudery jednoślismakowe. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 5: 13 – 15.
- Mościcki L. 2003 b. Surowce stosowane w produkcji wyrobów ekstrudowanych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 4: 24 – 26.

- Opydo B., Mościcki L. 1994. Zastosowanie skrobi w produkcji materiałów opakowaniowych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 37 — 38.
- Oztop H. F., Al-Salem K., Varol Y., Pop I. 2011. International Journal of Heat and Mass Transfer Natural convection heat transfer in a partially opened cavity filled with porous media. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54: 2253 — 2261.
- Rojek A. 2007. Biodegradowalność materiałów opakowaniowych. *Przegląd Zbożowo-Młynarski* 5: 6 — 9.
- Szostak-Kotowa J., 2000. Opakowania z tworzyw sztucznych rozkładalne w środowisku. *Opakowanie* 11: 18 — 20.
- Śmietana Z., Szpendowski J., Soral-Śmietana M., Świgoń J. 1996. Modification of potato starch by extrusion. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie* 29: 3 — 13.
- Śmietana Z., Świgoń J., Soral-Śmietana M., Szpendowski J. 1997. Skrobia ziemniaczana ekstruzyjnie modyfikowana. *Przemysł Spożywczy* 3: 13 — 14..
- Urbaniak W. 2003 a. Tworzywa sztuczne i ich zastosowanie. *Packaging Polska* 3: 48 — 51.
- Urbaniak W. 2003 b. Tworzywa i odpady w głównych działach gospodarki. *Packaging Polska* 4: 44 — 49.
- Walkowski A., 1992. Nowe, wybrane kierunki modyfikacji skrobi. *Problemy modyfikacji skrobi. Materiały IV Letniej Szkoły Skrobiowej*: 101 — 111.
- Żakowska H. 2001. Recykling opakowań poużytkowych z tworzyw sztucznych w Polsce. *Opakowanie* 6: 44 — 47.
- Żakowska H. 2003. Znakowanie i recykling. *Packaging Polska* 11: 56 — 60.