

**ZESZYTY NAUKOWE  
AKADEMII ROLNICZEJ  
WE WROCŁAWIU**

**NR 537**

**ROZPRAWY CCXL**

**AGNIESZKA KITA**

**THE EFFECTS OF SOME TECHNOLOGICAL  
PARAMETERS ON THE QUALITY OF FRIED  
SNACK PRODUCTS**

**DEPARTMENT OF FOOD STORAGE  
AND TECHNOLOGY**



**WROCŁAW 2006**

**AGNIESZKA KITA**

**WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW  
TECHNOLOGICZNYCH NA JAKOŚĆ SMAŻONYCH  
PRODUKTÓW PRZEKĄSKOWYCH**

**KATEDRA TECHNOLOGII ROLNEJ  
I PRZECHOWALNICTWA**



**WROCŁAW 2006**

*Opiniodawca*

dr hab. inż. Eleonora Ledóchowska

*Redaktor merytoryczny*

prof. dr hab. inż. Ewelina Dziuba

*Opracowanie redakcyjne i korekta*

Janina Szydłowska

*Łamanie*

Halina Sebzda

*Projekt okładki*

Grażyna Kwiatkowska

© Copyright by Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 2006

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany  
za pomocą urządzeń elektronicznych, nagrywających i innych  
bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich

ISSN 0867-7964

ISSN 0867-1427

**WYDAWNICTWO AKADEMII ROLNICZEJ WE WROCŁAWIU**

**Redaktor naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki**

**ul. Sopocka 23, 50-344 Wrocław, tel./fax (071) 328-12-77**

**e-mail: wyd@ozi.ar.wroc.pl**

---

Nakład: 100 + 16 egz. Ark. druk. 4,0

Druk i oprawa: F.P.H. ELMA

# SPIS TREŚCI

<b>Przedmowa .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Wstęp.....</b>	<b>9</b>
1.1. Smażone produkty przekąskowe .....	9
1.2. Smażenie, tłuszcze smaźalnicze i ich przemiany .....	10
1.3. Czynniki kształtujące jakość produktów przekąskowych – konsystencja, zawartość tłuszczu, akrylamidu.....	19
<b>2. Omówienie i dyskusja wyników .....</b>	<b>26</b>
2.1. Wpływ rodzaju oleju i temperatury smażenia na zawartość tłuszczu, teksturę oraz właściwości sensoryczne czipsów ziemniaczanych (V) .....	26
2.2. Wpływ rodzaju i stopnia degradacji oleju smaźalniczego na jakość otrzymywanych czipsów ziemniaczanych i chrupiek (VI).....	27
2.3. Wpływ rodzaju i stopnia degradacji oleju na jakość czipsów ziemniaczanych i chrupiek podczas przechowywania (I, II, VII).....	38
2.4. Wpływ parametrów technologicznych na zmniejszenie zawartości akrylamidu w czipsach ziemniaczanych (III, IV).....	50
<b>3. Podsumowanie i wnioski.....</b>	<b>53</b>
<b>4. Piśmiennictwo.....</b>	<b>55</b>



## PRZEDMOWA

W skład rozprawy habilitacyjnej wchodzi pięć prac dotyczących jakości produktów przekąskowych, tj. czipsów ziemniaczanych oraz różnego typu snacków, kształtowanej w procesie technologicznym oraz zmieniającej się podczas przechowywania. Są to następujące publikacje z lat 2003–2006, zestawione chronologicznie według terminu ich ukazywania się:

- I. Kita A., Aniołowski K., Włodarczyk E.:  
Zmiany frakcji tłuszczowej w przechowywanych produktach przekąskowych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2003, 2 (35), 87–95.
- II. Kita A., Lisińska G.:  
Wpływ rodzaju tłuszczu smażalniczego na właściwości sensoryczne czipsów ziemniaczanych podczas przechowywania.  
*Żywność Nauka Technologia Jakość*, 2004, 1 (38), 55–64.
- III. Kita A., Bråthen E., Knutsen S.H., Wicklund T.:  
Effective ways of decreasing acrylamide content in potato crisps during processing.  
*Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52, 7011–7016.
- IV. Bråthen E., Kita A., Knutsen S.H., Wicklund T.:  
Addition of glycine reduces the content of acrylamide in cereal and potato products.  
*Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53, 3259–3264.
- V. Kita A., Lisińska G., Gołubowska G.:  
The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps.  
*Food Chemistry*. (2006, w druku)

Do rozprawy habilitacyjnej włączono również dotychczas niepublikowane wyniki badań prowadzonych w ramach grantu KBN nr 3 P06T 044 23 (kierownik: dr inż. Agnieszka Kita) nt.: Tekstura smażonych produktów spożywczych w zależności od właściwości chemicznych medium smażalniczego. Dotyczą one dwóch zagadnień:

- VI. Wpływu rodzaju i stopnia degradacji medium smażalniczego na właściwości czipsów ziemniaczanych i chrupek zaraz po wyprodukowaniu.
- VII. Wpływu rodzaju i stopnia degradacji medium smażalniczego na właściwości czipsów ziemniaczanych i chrupek podczas przechowywania.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu niektórych parametrów technologicznych na jakość otrzymywanych smażonych produktów przekąskowych, tj. czipsów ziemniaczanych oraz chrupek. Badano wpływ rodzaju i stopnia degradacji medium smażalniczego na właściwości otrzymywanych produktów przekąskowych, ze szczególnym uwzględnieniem teksturotwórczej roli zaadsorbowanego tłuszczu.

Poszukiwano także skutecznych metod ograniczania tworzenia akrylamidu podczas produkcji czipsów ziemniaczanych.

W niniejszej rozprawie zrezygnowano z dokładnego opisu wykonywanych eksperymentów oraz ze szczegółowej dyskusji otrzymanych wyników (z wyjątkiem danych niepublikowanych: VI, VII), gdyż znajdują się one w załączonych oryginalnych publikacjach (Załącznik 1).

Przedstawiona rozprawa jest syntezą wyników badań zamieszczonych w wymienionych publikacjach i nieopublikowanych.

Publikacje wchodzące w skład rozprawy oraz wyniki nieopublikowane zostały oznaczone rzymskimi numerami zgodnie z podanym spisem. Natomiast dane bibliograficzne innych cytowanych prac zestawiono w rozdziale Piśmiennictwo.



# 1. WSTĘP

## 1.1. Smażone produkty przekąskowe

Produkty przekąskowe to cała gama różnorodnych produktów charakteryzujących się specyficznymi właściwościami sensorycznymi. Pomimo że różnią się kształtem, barwą, smakiem i zapachem posiadają jedną wspólną cechę – chrupką i delikatną konsystencję. Wytwarzane są one z różnych surowców i przy zastosowaniu różnych technologii. Jedną z najważniejszych grup stanowią smażone produkty, do których zaliczane są przede wszystkim czipsy ziemniaczane oraz różnego rodzaju chrupki (snacks). Czipsy ziemniaczane to cienkie plasterki ziemniaka wysmażone w tłuszczu lub oleju do wilgotności poniżej 2% [Smith, 1987; Lisińska i Leszczyński, 1989]. Z kolei smażone chrupki (snacks) to produkty otrzymane z gotowych półproduktów poddanych następnie smażeniu. Półprodukty zwane peletami otrzymywane są z mieszaniny różnych składników, wśród których dominują surowce skrobiowe. Podczas smażenia pelety ekspandują nadając chrupkom specyficzną strukturę [Lusas i Rooney, 2002].

O ile chrupki otrzymywane poprzez smażenie znane są na polskim rynku od wielu lat, czipsy ziemniaczane są produktem stosunkowo nowym. Pierwsze czipsy pochodziły z importu, a produkcja w kraju rozpoczęła się na początku lat 90. XX wieku. Po szybkim początkowym wzroście, obecnie produkcja czipsów ustabilizowała się i wynosi około 55 tys. ton (2005 r.) [Rynek Ziemniaka, 2005].

Zarówno czipsy ziemniaczane, jak i różnego typu chrupki, ze względu na sposób otrzymywania, a przede wszystkim proces smażenia charakteryzują się podobnymi wyróżnikami jakościowymi:

- niską zawartością wody (czipsy < 2%, smażone chrupki < 4,5%),
- charakterystyczną barwą (żółcistożółtą – czipsy ziemniaczane, beżową – chrupki),
- swoistym smakiem i zapachem,
- charakterystyczną chrupką i delikatną konsystencją,
- wysoką zawartością tłuszczu (czipsy 33–39%, smażone chrupki < 45%) [Lisińska i Leszczyński, 1989; Lusas i Rooney, 2002].

Spośród cech sensorycznych za najważniejszą, a jednocześnie najmniej poznaną, uważana jest charakterystyczna chrupka konsystencja ww. produktów. Równie istotnym wyróżnikiem jakościowym jest zawartość tłuszczu w gotowych produktach. Tłuszcz jest nośnikiem smaku i zapachu, a także wpływa na konsystencję. Jednocześnie znacząco podwyższa wartość kaloryczną przekąsek. Stąd też zmniejszenie zawartości tłuszczu jest

jednym z kierunków modyfikacji tej grupy produktów, szczególnie w krajach rozwiniętych, w których otyłość jest chorobą powszechną, a przekąski stanowią stałe uzupełnienie codziennej diety. Nie mniej istotna od zawartości, jest również jakość tego nowego składnika. Ma to szczególne znaczenie pod kątem oceny żywieniowej produktów przekąskowych, które najczęściej spożywane są przez dzieci i młodzież.

W ostatnich latach wiele uwagi poświęcono zagadnieniom związanym z obecnością akrylamidu w różnorodnych produktach spożywczych, otrzymywanych z surowców węglowodanowych, poddanych obróbce termicznej. Okazało się, że największe ilości tego związku stwierdzono w cipsach ziemniaczanych i stąd produkt ten stał się modelem materiałem badawczym. Ograniczenie jego ilości na etapie produkcji stało się jednym z podstawowych zadań dla zakładów produkcyjnych.

Wymienione wyżej cechy gotowych produktów przekąskowych uzależnione są zarówno od właściwości surowca, jak i parametrów procesu technologicznego. W procesie technologicznym najważniejszym etapem bezpośrednio kształtującym ich jakość jest proces smażenia.

## 1.2. Smażenie, tłuszcze smaźalnice i ich przemiany

Smażenie jest jedną z najpopularniejszych form przetwarzania żywności. Stosowane jest na szeroką skalę w gospodarstwach domowych, gastronomii oraz w przemyśle. O jego popularności decyduje zarówno krótki czas trwania obróbki termicznej w porównaniu z gotowaniem lub pieczeniem, jak i specyficzne cechy sensoryczne smażonych produktów. Produkt w czasie smażenia zyskuje złocistą barwę powierzchni, charakterystyczny smak i aromat oraz chrupkość zewnętrznej warstwy w wyniku odwodnienia powierzchni produktu [Banks, 1996; Banks i Lusas, 2002, Saguy i Dana, 2003].

Wyróżnia się dwie podstawowe metody smażenia: w małej ilości tłuszczu (tzw. smażenie na patelni) oraz smażenie zanurzeniowe. Proces smażenia w małej ilości tłuszczu polega na obrumienianiu w gorącym tłuszczu różnego rodzaju produktów porcjowanych. Natomiast w smażeniu zanurzeniowym produkt jest całkowicie zanurzany w gorącym tłuszczu [Varela i wsp., 1988; Andrikopoulos i wsp., 2002].

Proces smażenia jest typowym procesem dehydratacji charakteryzującym się następującymi cechami:

- wysoką temperaturą medium smaźalniczego (160–180 °C) (423,15–443,15 K) umożliwiającą szybką wymianę ciepła oraz krótki czas procesu,
  - temperaturą produktu nie przekraczającą 100 °C (373,15 K) z wyjątkiem części zewnętrznej,
  - minimalnymi stratami substancji rozpuszczalnych w wodzie [Saguy i Dana, 2003].
- Zmiany zachodzące w żywności podczas smażenia podzielić można na kilka etapów:
- „wprowadzenie do smaźalnika”, podczas którego surowy produkt zanurzany jest w gorącym oleju, skrobia znajdująca się na powierzchni ulega skleikowaniu, a powierzchnia smażonego produktu pokrywa się drobnymi banieczkami pary wodnej; w tym etapie następuje odparowanie powierzchniowej wody, a powstająca para

zapobiega zbijaniu się smażonych cząstek w większe konglomeraty, utrzymuje niską temperaturę wewnątrz produktu (nie przekraczającą temperatury wrzenia wody) oraz ogranicza wnikanie oleju do produktu;

- „twardnięcie” – w wyniku dehydratacji części zewnętrznej produktu; prócz wody powierzchniowej, odparowywana jest również woda znajdująca się w wewnętrznych warstwach produktu; tworzy się sieć kanalików, którymi para wodna wydostaje się na zewnątrz; struktura produktu pozostaje nadal giętka i elastyczna;
- „wzmocnienie powierzchni” – kolejne warstwy wewnętrzne w wyniku dehydratacji zmieniają strukturę i tworzy się krucha zewnętrzna warstwa; produkty smażone w wysokich temperaturach posiadają cienką, delikatną powierzchnię, podczas gdy smażone w niskich temperaturach – grubszą skórkę i bardziej kruchą teksturę;
- „gotowanie/obniżanie zawartości wody” – ciepło docierające w coraz głębsze warstwy produktu powoduje odparowywanie wody znajdującej się wewnątrz; podczas tego etapu bardzo ważna jest wielkość smażonych cząstek, które powinny posiadać jak najbardziej wyrównane rozmiary;
- „koniec smażenia” – temperatura warstwy zewnętrznej smażonego produktu szybko wzrasta do temperatury oleju; niska wilgotność i wysoka temperatura sprzyjają tworzeniu charakterystycznego aromatu (reakcjom, w których biorą udział aminokwasy, białka i węglowodany), redukcji wilgotności oraz wytworzeniu kruchej skórki o charakterystycznym zabarwieniu; w końcowym etapie smażenia zwiększa się również zawartość tłuszczu w produkcie, jakkolwiek większość tłuszczu znajduje się na jego powierzchni;
- „chłonięcie tłuszczu” – tłuszcz powierzchniowy poprzez sieć kanalików zaczyna wnikać do produktu; podczas ochładzania produktu dochodzi do kondensacji wody, wytwarza się podciśnienie umożliwiające wnikanie tłuszczu [Banks, 1996; Banks i Lusas, 2002].

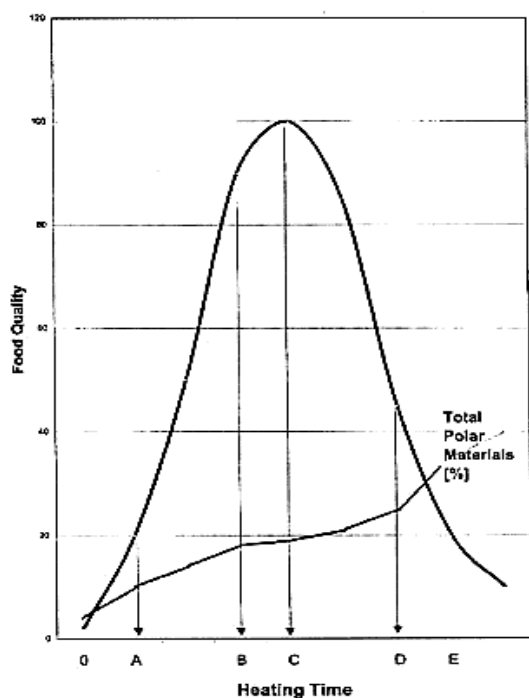
W procesie smażenia zmianom ulega nie tylko produkt, ale również tłuszcz znajdujący się w smaźalniku. Wraz z wprowadzaną żywnością, do smaźalnika dostaje się tlen atmosferyczny, który powodując utlenianie tłuszczu, prowadzi do powstania związków lotnych i substancji nielotnych – między innymi polimerów. Ze smażonej żywności do medium smaźalniczego przechodzą z kolei woda – odpowiedzialna za hydrolizę tłuszczu, metale oraz związki barwne, a także enzymy. Każdy z tych nowych komponentów wpływa na właściwości medium smaźalniczego oraz smażonej żywności. Ilość oraz rodzaj wprowadzanych nowych składników zależy zarówno od rodzaju produktu, jak i przebiegu procesu smażenia [Banks i Lusas, 2002].

W produkcji przekąsek stosuje się smażenie zanurzeniowe. Proces ten może być prowadzony w sposób ciągły lub okresowy. Podczas smażenia ciągłego stosowanego zazwyczaj na skalę przemysłową, ubytki tłuszczu powstałe w wyniku wchłaniania tłuszczu przez produkt są ciągle uzupełniane i przyjmuje się, że całkowity czas wymiany medium smaźalniczego nie przekracza 8 godzin [Banks i Lusas, 2002]. Sposób okresowy jest najczęściej stosowany w małej gastronomii oraz w gospodarstwach domowych. Tłuszcz znajdujący się w smaźalniku jest wielokrotnie ogrzewany i schładzany, a czas jego przebywania jest często wielokrotnie dłuższy niż podczas smażenia ciągłego.

Jako media smaźalnicze używane są różnorodne oleje i tłuszcze zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego. Ze względu na specyfikę głębokiego smażenia najczęściej stosowane są rafinowane oleje roślinne o konsystencji płynnej. Rodzaj wybieranego oleju w dużej mierze zależy od lokalnych przyzwyczajzeń i jego dostępności. Pomimo że większość olejów rafinowanych praktycznie pozbawionych jest charakterystycznego smaku i zapachu, oleje bawełniane i arachidowe nadają smażonym produktom specyficzny orzechowy aromat [Banks i Lusas, 2002]. Oleje te są najpopularniejszymi mediaми smaźalniczymi w USA, natomiast w Europie częściej stosowane są oleje słonecznikowe i rzepakowe. Ze względu na wysoką zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych większość olejów roślinnych podatnych jest na przemianę termooksydacyjną. Dotyczy to szczególnie olejów bogatych w wielonienasycone kwasy tłuszczowe, które niekorzystnym przemianom ulegają znacznie szybciej niż oleje z wysoką zawartością kwasów jednonienasyconych. Kwas linolenowy utlenia się 40-krotnie szybciej niż kwas oleinowy i stąd w wielu krajach wyznaczono limity ograniczające zawartość tego kwasu w olejach smaźalniczych (< 2%) [Brinkmann, 2000; Debnath i wsp., 2003]. Aby zminimalizować bądź wyeliminować obecność kwasów wielonienasyconych w olejach używanych do smażenia stosuje się najczęściej proces uwodorniania [Szukalska, 2003b]. W procesie tym, pomimo pożądanego wysycenia części wiązań podwójnych, dochodzi do powstawania izomerów geometrycznych kwasów tłuszczowych o konfiguracji *trans*. Ich zawartość z kolei jest niepożądana ze względów żywieniowych i stąd od kilku lat dąży się do ograniczania stosowania tłuszczów uwodornionych [Kochhar, 2000; Kristott, 2003; Rossel, 2003]. Stąd też w niektórych krajach wprowadzono przepisy, określające dopuszczalną zawartość izomerów *trans* w tłuszczach jadalnych na poziomie 2%. Limity takie od 2004 roku obowiązują w Danii, a w 2006 roku planowano je wprowadzić również w USA [Timms, 2004]. Wyeliminowanie procesu uwodorniania w produkcji tłuszczów smaźalniczych stwarza konieczność zastąpienia dotychczas stosowanych olejów nowymi. Jednym z rozwiązań są badania nad stworzeniem zmodyfikowanych roślin produkujących oleje o zaprogramowanym wcześniej składzie kwasów tłuszczowych – o wysokiej zawartości kwasu oleinowego i niskiej zawartości kwasów wielonienasyconych, a szczególnie kwasu linolenowego. Efektem tych prac są nowe oleje sojowe, słonecznikowe i rzepakowe [Pethukov i wsp., 1999; Kochhar, 2000; Tompkins i Perkins, 2000; Guida i wsp., 2003; Kristott, 2003; Rossel, 2003; Warner i Gupta, 2003]. Ze względu na zmodyfikowany skład kwasów tłuszczowych charakteryzują się one dobrą stabilnością termooksydacyjną i pomyślnie przeszły testy smaźalnicze. Dodatkowym elementem wspomagającym ich stabilność jest stosowanie specjalnych dodatków w postaci różnych substancji o działaniu przeciwutleniającym [Abdalla, 1999; Che Man i Tan, 1999b; Jaswir i wsp., 2000; Kochhar, 2000; Satyanarayana i wsp., 2000; Yanishlieva i Marinowa, 2001; Barrera-Arellano i wsp., 2002; Houhoula i wsp., 2003a; Lalas i Dourtoglu, 2003; Houhoula i wsp., 2004]. Przykładem takiego oleju jest „Good Fry Oil” otrzymany na bazie wysokooleinowego oleju słonecznikowego z dodatkiem oleju ryżowego i owsianego. Zawarte w oleju ryżowym i owsianym przeciwutleniacze skutecznie stabilizują ten nowy olej, jednak znacznie podwyższają jego cenę [Kochhar, 2000; Kristott, 2003]. Stąd też nowe oleje dotychczas nie znalazły szerszego zastosowania.

Alternatywą dla tłuszczów uwodornionych i drogich olejów o podwyższonej zawartości kwasu oleinowego stał się w ostatnich latach olej palmowy oraz jego frakcje – szczególnie oleina palmowa [Che Man i Wan Hussin, 1998; du Plessis i Meredith, 1999]. Ze względu na wysoką, jak na tłuszcz pochodzenia roślinnego, zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych (około 50%), olej palmowy jest stabilnym tłuszczem smażalniczym. Konkurencyjna cena i wzrastająca z roku na rok produkcja wpływają na coraz szersze jego zastosowanie do smażenia – szczególnie w produkcji różnego typu przekąsek [Banks i Lusas, 2002].

Rodzaj tłuszczu, a także jego jakość zmieniająca się podczas procesu smażenia, wpływają na cechy uzyskanych gotowych produktów. Stąd też uwzględniając czas smażenia oraz jakość otrzymywanych produktów wyznaczono pięć etapów technologicznej przydatności tłuszczu (rys. 1):



Rys. 1. Zmiany jakości potraw (punkty 1–100) w zależności od czasu ogrzewania tłuszczu [Blumenthal i Stier, 1991]

Fig. 1. Frying oil quality (points 1–100) curve [Blumenthal i Stier, 1991]

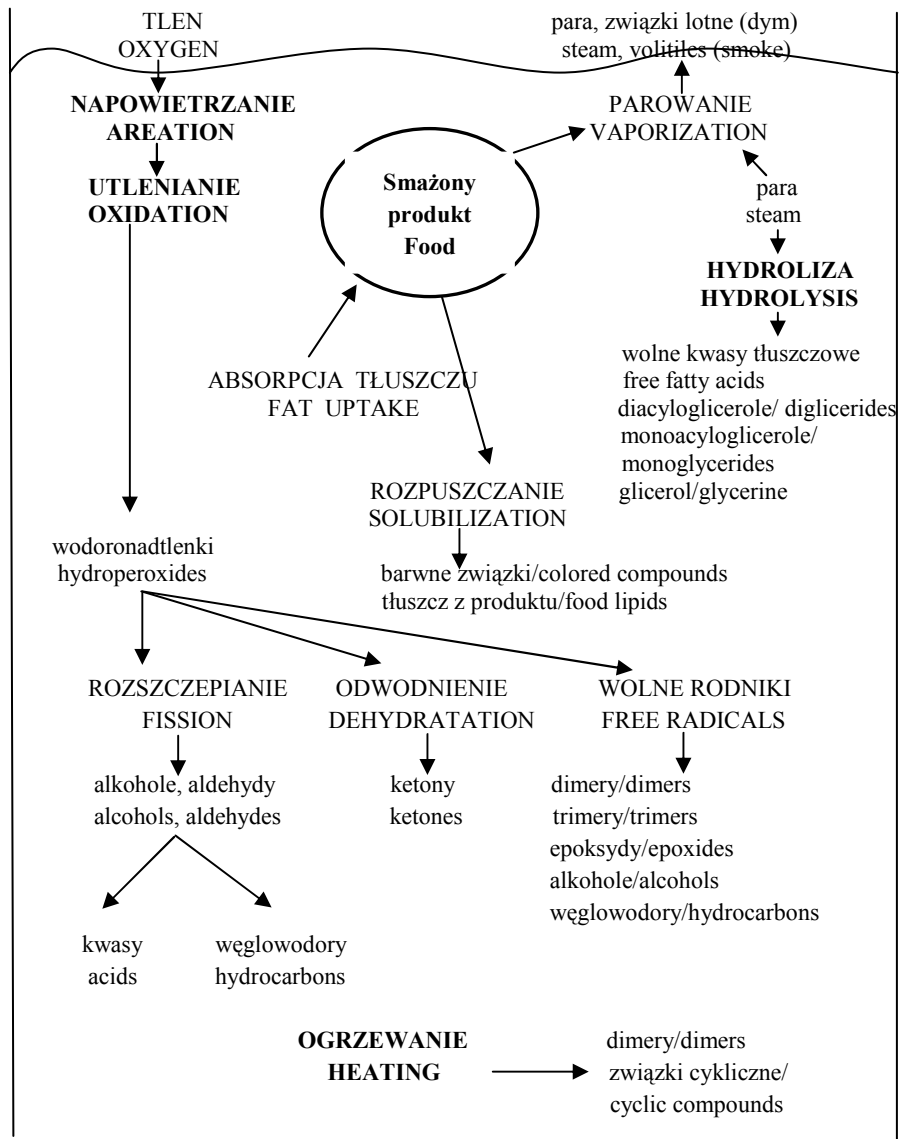
0–A Osiągnięcie przydatności do smażenia (tzw. łamanie tłuszczu) – w tym okresie tłuszcz przystosowuje się do właściwego smażenia; rzeczywisty czas kontaktu pomiędzy produktem a olejem stanowi około 10% całkowitego czasu smażenia;

- A–B Tłuszcz świeży – produkt smaży się długo i zanim ulegnie zarumienieniu staje się nadmiernie wysuszony (do właściwego zrumienienia potrzebne są substraty reakcji Maillarda, powstające jako produkty rozpadu nadtlenu i gromadzące się z biegiem procesu smażenia); czas kontaktu – 20%;
- B–C Optymalna jakość – produkt smaży się prawidłowo i charakteryzuje się pożądanymi cechami sensorycznymi; czas kontaktu – 50%;
- C–D Pogorszenie jakości – produkt brązowieje zanim zostanie właściwie usmażony, chłonie nadmierne ilości tłuszczu; czas kontaktu – 80%;
- D–E Tłuszcz zepsuty, nieprzydatny – uzyskany produkt robi wrażenie spalonego; czas kontaktu – 100% [Blumenthal, 1991; Blumenthal i Stier, 1991].

Podział ten oparty został na teorii smażenia, w której związki powierzchniowo czynne (surfaktanty) odgrywają kluczową rolę umożliwiając kontakt dwóch różnych środowisk: oleju oraz wody zawartej w produkcie. Uzupełnieniem teorii surfaktantów jest wyznaczona zależność pomiędzy zawartością związków polarnych (TPC) w tłuszczu smaźalniczym, a intensywnością smaku [Stier, 2004].

W czasie smażenia, tłuszcz przez długi czas poddawany jest działaniu wysokiej temperatury, narażony jest na działanie tlenu atmosferycznego oraz składników pochodzących ze smażonego wyrobu. W takich warunkach tłuszcz ulega przemianom, których produkty do pewnego momentu działają korzystnie na jakość uzyskiwanych wyrobów umożliwiając odpowiedni kontakt i wymianę ciepła pomiędzy medium smaźalniczym, a smażonym produktem [Blumenthal i Stier, 1991; Stier, 2004]. Jednakże ich ciągła synteza oraz kolejne przemiany, powodują przede wszystkim niekorzystne zmiany jakościowe tłuszczu smaźalniczego czyli jego degradację. Do najważniejszych reakcji zachodzących w tłuszczu podczas smażenia zaliczane są przemiany hydrolityczne, oksydacyjne i polimeryzacyjne.

Przemiany hydrolityczne zachodzą pod wpływem wody zawartej w produkcie, która kontaktując się z rozgrzanym tłuszczem, uczestniczy w jego rozkładzie. Produktami hydrolizy są wolne kwasy tłuszczowe, mono- i diacyloglicerole, a w rezultacie także glicerol. W obecności ciepła glicerol ulega degradacji do akroleiny, która ze względu na niski punkt wrzenia, szybko odparowuje powodując powstawanie dymu. Jest także jednym ze składników, które ulegają kondensacji i polimeryzacji w okapie smaźalnika. Również kwasy tłuszczowe dzięki niższej masie cząsteczkowej niż triacyloglicerole łatwiej destylują z parą wodną. Wraz ze zwiększaniem ich ilości, a także stopniem nienasylenia, obniżeniu ulega punkt dymienia oleju. Wolne kwasy tłuszczowe są również bardziej podatne na utlenianie oraz katalizują dodatkowo hydrolizę tłuszczu. Reagując z kationami sodu i potasu, pochodzącymi z produktu, tworzą alkaliczne mydła. Skutki tej reakcji uwidoczniają się w postaci pienienia tłuszczu. Zmiany napięcia powierzchniowego tłuszczu wywołane obecnością wolnych kwasów tłuszczowych, mono- oraz diacylogliceroli powodują z kolei, że tłuszcz smaźalniczy ściślej przylega do powierzchni smażonego produktu i w efekcie końcowym produkt wchłania większą jego ilość [Drozdowski, 1996; Nawar, 1996; Lusas i Rooney, 2002].



Rys. 2. Przemiany zachodzące w tłuszczu podczas smażenia [Fritch, 1981]  
 Fig. 2. Changes occurring during deep fat frying [Fritch, 1981]

Uwzględniając aspekty żywieniowe, tłuszcze częściowo zhydrolizowane są łatwiej strawne. Zawarte w nich mono- i diacyloglicerole mają właściwości emulgujące, co sprzyja dyspersji tłuszczu, zwiększa powierzchnię kontaktu z enzymami jelitowymi i ułatwia procesy wchłaniania [Zalewski i Hoffam, 1997]. Powstałe w wyniku hydrolizy

nienasycone kwasy tłuszczowe mogą ulegać dalszym reakcjom rozkładu, które mają charakter oksydacyjny [Kowalczyk, 1998; Szukalska, 2003a].

Utlenianie to kolejna przemiana, której ulega tłuszcz w procesie smażenia. W początkowych etapach utleniania niektóre oleje uzyskują charakterystyczny aromat (np. olej bawełniany – delikatnie orzechowy, arachidowy – prażonych orzechów, kukurydziany – popcornu, palmowy – słodki podobny do fiołkowego, a sojowy – trawiasty lub fasolowy). Najszybciej produkty aromatyczne powstają w olejach zawierających wielonienasycone kwasy tłuszczowe. Równie szybko ulegają one dalszym przemianom oksydacyjnym i stąd produkty smażone w takich olejach charakteryzują się ograniczoną stabilnością podczas przechowywania. Oleje zawierające duże ilości kwasu oleinowego wymagają z kolei dłuższego czasu do uzyskania optymalnego aromatu. Oleje te są znacznie bardziej odporne na utlenianie i dzięki temu nadają się do dłuższego smażenia, jak i przechowywania [Lusas i Rooney, 2002].

Utlenianie tłuszczów rozważa się jako dwa procesy przebiegające według różnych mechanizmów. Są to fotosensybilizowane utlenianie (zachodzące pod wpływem światła) i autooksydacja (samoutlenianie) [Drozdowski, 1996; Nawar, 1996].

Fotoutlenianie polega na reakcji nienasyconego kwasu tłuszczowego z tlenem w obecności światła i sensybilizatora. Sensybilizator przekształca tlen w bardziej aktywny stan singletowy. Tlen singletowy reaguje bezpośrednio z podwójnym wiązaniem nienasyconych kwasów tłuszczowych, przyłączając się do węgla biorącego udział w podwójnym wiązaniu, które przesuwa się tworząc wodoronadtlenek alkilowy o konfiguracji *trans* [Drozdowski, 1996].

Fotoutlenianie następuje znacznie szybciej niż autooksydacja. Przypuszcza się, że utlenianie fotosensybilizowane może odgrywać ważną rolę w inicjowaniu samoutleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych. Powstałe w wyniku fotoutleniania wodoronadtlenki, rozpadają się na rodniki, które mogą zapoczątkować reakcję łańcuchową autooksydacji.

Autooksydacja polega na samorzutnym przyłączeniu tlenu z powietrza przez nienasycone kwasy tłuszczowe. Utlenianiu ulegają zarówno kwasy tłuszczowe uwolnione na skutek hydrolizy, jak i te wchodzące w skład triacylogliceroli. Raz zapoczątkowany proces utleniania tłuszczów dalej przebiega samorzutnie. Oksydacja inicjowana jest przez promienie świetlne, podwyższoną temperaturę oraz przez jony metali (np. miedzi, kobaltu, żelaza, chromu). Proces utleniania tłuszczów rozpoczyna się od utworzenia rodników, wysoce energetycznych i reaktywnych związków, które zapoczątkują szereg chemicznych reakcji z niezmienionymi kwasami tłuszczowymi [Drozdowski, 1996; Szukalska, 2003a].

W reakcji utleniania wyróżnia się trzy podstawowe etapy:

1. Inicjacja – zapoczątkowanie reakcji pod wpływem induktora (energii świetlnej lub cieplnej); polega na utworzeniu rodnika alkilowego przez oderwanie wodoru od grupy metylenowej.
2. Propagacja – rozwinięcie reakcji; polega na reakcji rodnika z tlenem i powstaniu rodnika nadtlenkowego. Powstały rodnik reaguje z nienasyconym kwasem tłuszczo-



wym, odbierając wodór od innej cząsteczki i tworzy wodoronadtlenek. Nowo powstały rodnik reaguje z tlenem dając rodnik nadtlenny itd.

3. Terminacja – zakończenie reakcji; polega na przerwaniu łańcucha. Następuje wskutek rekombinacji rodników i tworzeniu nierodnikowych produktów, które nie są zdolne ani do dalszego propagowania reakcji, ani do inicjacji nowych [Drozdowski, 1996].

Nie do końca wyjaśniony jest mechanizm inicjacji reakcji utleniania. Pewne jest natomiast, że powstałe wodoronadtlenki stają się źródłem dodatkowych rodników inicjujących. Podczas inicjacji ważne jest również miejsce, w którym przyłącza się tlen. W kwasach monoenowych najłatwiejsze do rozerwania jest wiązanie C-H grupy metylenowej położonej w pozycji  $\alpha$  do podwójnego wiązania. O wiele bardziej labilne są grupy metylenowe w kwasach polienowych położone między dwoma podwójnymi wiązaniami [Drozdowski, 1996]. W utlenianiu triacylogliceroli na miejsce przyłączenia tlenu wpływa także położenie kwasów tłuszczowych w cząsteczce [Budzyńska-Topolowska i Ziemiański, 1992].

Powstające w wyniku utleniania wodoronadtlenki są bardzo nietrwałymi produktami i łatwo ulegają dalszym przemianom. W pierwszym etapie rozpadu wodoronadtlenków następuje rozbicie wiązania między dwoma atomami tlenu, w wyniku czego powstają rodniki alkoksyłowe i hydroksyloxy. Następnie w rodniku alkoksyłowym rozerwaniu ulega wiązanie między dwoma węglami po obu stronach rodnika [Drozdowski, 1996; Nawar, 1996].

Rodnik alkoksyłowy może reagować z innymi rodnikami lub nowymi cząsteczkami substratu tłuszczowego. W wyniku tych reakcji powstają aldehydy, ketony, węglowodory, laktony, etery, związki hydroksyloxy, hydroksyl-epoksydowe, estry dwu- i trójhydroksyloxy, związki cykliczne dimerów i polimerów [Budzyńska-Topolowska i Ziemiański, 1992].

Podczas ogrzewania tłuszczów w wysokich temperaturach zachodzi oksydacyjno-termiczny rozpad nienasyconych kwasów tłuszczowych, prowadzący do powstania dimerów, trimerów i tetrametrów z grupami polarnymi [Drozdowski, 1996].

Produkty przemian oksydacyjnych, jak np. krótkołańcuchowe aldehydy i ketony, powodują zmianę smaku i zapachu oraz pienienie tłuszczu. Natomiast powstałe w wyniku utleniania polimery obniżają strawność smażonych produktów, drażnią śluzówkę przewodu pokarmowego, mogą też wykazywać działanie mutagenne. Do substancji toksycznych zaliczane są także związki epoksydowe, hydroksykwasy, związki karbonyłowe – między innymi dialdehyd malonowy oraz 4-hydroksynonenal [Drozdowski, 1996; Zalewski i Hoffman, 1997; Billek, 2000; Tynek i Hazuka, 2004].

Kolejna grupa przemian tłuszczu smażalniczego to przemiany polimeryzacyjne zachodzące w głębokich warstwach tłuszczu w warunkach beztlenowych. Ich produktami są głównie dimery i cykliczne związki oraz polimery powstałe przez rozpad wiązania C-C w położeniu  $\alpha$  lub  $\beta$  do podwójnego wiązania i utworzenie odpowiednich rodników [Drozdowski, 1996].

Bezpośrednie połączenie powstałych rodników może prowadzić do powstania krótko- i długołańcuchowych kwasów, kwasów dikarboksyłowych i węglowodorów. Rodniki

te mogą również odbierać wodór od innej cząsteczki kwasu tłuszczowego prowadząc do powstania rodnika allilowego. Rodnik allilowy może ulegać dysproporcjonowaniu do kwasów mono- i dienowych lub przyłączać się do podwójnego wiązania innej cząsteczki kwasu tłuszczowego tworząc dimeryczny rodnik. Ten zaś przez dysmutację prowadzi może do powstania mono- i dienowego dimeru lub przez przyłączenie wodoru może stworzyć dimer [Drozdowski, 1996].

Produkty polimeryzacji ze względu na dużą masę cząsteczkową zwiększają lepkość tłuszczu, powodują jego pienienie i pociemnienie barwy. Polimery powstałe w wyniku polimeryzacji termicznej wykazują podobne działanie fizjologiczne do polimerów powstałych w wyniku przemian oksydacyjnych [Drozdowski, 1996; Zalewski i Hoffman, 1997; Billek, 2000].

Analizując produkty przemian powstające w tłuszczach podczas smażenia sklasyfikowano ponad 400 różnorodnych związków chemicznych, spośród których ponad 200 zaliczanych jest do substancji lotnych [Banks, 1996; Takeoka i wsp., 1996; Paul i Mittal, 1997]. Ze względu na rodzaj i działanie niektórych z tych substancji, w wielu krajach (głównie europejskich) wyznaczono standardy określające dopuszczalne ich ilości w oleju smaźalniczym. Należą do nich najczęściej: zawartość wolnych kwasów tłuszczowych oznaczana jako liczba kwasowa (max. 2% lub 2,5%), zawartość związków polarnych (max. 25% lub 27%), zawartość polimerów i dimerów triacylogliceroli (max. 10% – Belgia, Czechy lub 16% – Holandia) oraz punkt dymienia oleju smaźalniczego (nie niższy niż 170 lub 180 °C) [Tasioula-Margari i wsp., 1996; Bastida i Sanchez-Muniz, 2002]. Wprowadzane są również inne metody badawcze do określania przydatności smaźalniczej tłuszczu. Analizując zmiany jakości oleiny palmowej w przemysłowej produkcji czipsów ziemniaczanych uszeregowano stosowane metody w następującym porządku: zmiany zawartości tokoferoli > stała dielektryczna > zawartość wolnych kwasów tłuszczowych > zmiany w zawartości tetrahydrochinonu (TBHQ) > liczba anizydynowa > okres indukcji wyznaczany Rancimatem. Pierwsze trzy metody są dobrze skorelowane z zawartością związków polarnych, natomiast oznaczanie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych rekomendowano jako metodę do monitoringu właściwości oleju podczas smażenia [du Plessis i Meredith, 1999]. Ponieważ w procesie smażenia dominują reakcje utleniania i polimeryzacji, jako miernik cieplnej stabilności tłuszczów smaźalniczych, szczególnie gdy ich właściwości „poprawiane” są przez dodatek substancji o działaniu przeciwutleniającym, zaproponowano w ostatnich latach nowy parametr – indeks OSET (100/zawartość polimerów triacylogliceroli) [Kochhar i Gertz, 2004].

Przemiany zapoczątkowane w tłuszczu podczas smażenia, są następnie kontynuowane we frakcji tłuszczowej gotowych produktów podczas ich przechowywania. Ma to szczególne znaczenie w przypadku produktów przekąskowych, które trafiają do konsumenta nie bezpośrednio po wyprodukowaniu, ale po krótszym lub dłuższym okresie przechowywania.

Zmiany przechowalnicze zachodzące w tłuszczu zaadsorbowanym przez smażone produkty przekąskowe, popularnie zwane jęczeniem, obejmują przede wszystkim hydrolizę i utlenianie [Gogolewski i wsp., 1993; Drozdowski i wsp., 1998]. Przemiany tyczne przebiegają zwykle ze stałą szybkością podczas całego okresu przechowywania.

Nieco odmiennie wygląda sytuacja związana z utlenianiem. Tempo przemian oksydacyjnych zależy zarówno od rodzaju tłuszczu smażalniczego (szczególnie stopnia sycenia), jak i od warunków przechowywania (miedzy innymi kontaktu ze światłem) [Pangloli i wsp., 2002]. Kontakt ze światłem sprawia, że tłuszcz zawarty w przechowywanych produktach ulega zarówno utlenianiu pod wpływem tlenu singletowego, jak i w wyniku autooksydacji. Ponieważ tlen singletowy reaguje 1500 razy szybciej niż tlen tripletowy utlenianie zachodzi znacznie szybciej w produktach narażonych na kontakt ze światłem [Nawar, 1996; Pangloli, 2002]. O ile w początkowym etapie przechowywania ilość produktów utleniania może być niewielka, to w kolejnych tygodniach ich przyrost może być logarytmiczny.

Produkty przemian tłuszczu podczas przechowywania bezpośrednio wpływają na właściwości sensoryczne produktu. Smak i zapach zjełczałego tłuszczu powstaje głównie na skutek obecności niskocząsteczkowych substancji lotnych, tj. aldehydów, ketonów i wolnych kwasów tłuszczowych. Wystarczą nawet bardzo małe ilości wolnych niskocząsteczkowych kwasów tłuszczowych, aby smak i zapach zjełczałego tłuszczu stał się wyraźnie wyczuwalny. Podczas jełczenia dochodzi również do zmian barwy tłuszczu pod wpływem przemian naturalnych barwników oraz tworzenia nowych związków barwnych [Budzyńska-Topolowska i Ziemiański, 1992; Petukhov i wsp., 1999; Pangloli i wsp., 2002].

### **1.3. Czynniki kształtujące jakość produktów przekąskowych – konsystencja, zawartość tłuszczu, akrylamidu**

Spśród cech sensorycznych produktów przekąskowych za najważniejszą obecnie uważa się charakterystyczną chrupką **konsystencję**. Pomimo że kształtowana jest w procesie smażenia, uzależniona jest od wielu różnorodnych czynników. Dotychczas najwięcej uwagi poświęcono poszukiwaniom zależności pomiędzy składem chemicznym surowca a konsystencją uzyskiwanych produktów [Kita i wsp., 2000; Kita, 2002a; Segnini i wsp., 1999a; Segnini i wsp., 1999b]. Stwierdzono, że konsystencja czipsów ziemniaczanych uzależniona jest nie tylko od zawartości skrobi i substancji białkowych w bulwach ziemniaka różnych odmian, ale że w dużym stopniu zależna jest również od zawartości polisacharydów nieskrobiowych i ligniny. Substancje te jako składniki budulcowe ścian komórkowych kształtują nie tylko konsystencję surowca, ale również gotowego produktu [Kita, 2002b]. Skład chemiczny mieszaniny użytej do produkcji peletów, z których uzyskiwane są chrupki również istotnie wpływa na konsystencję gotowych chrupek [Pęksa, 2006]. Stwierdzono, że nawet kilkuprocentowy dodatek błonnika powoduje zwiększenie twardości uzyskanych chrupek [Kita i wsp., 2002; Kita i wsp., 2003b; Pęksa i wsp., 2004]. Istotne znaczenie ma również wilgotność półproduktów, która powinna mieścić się w zakresie 10–12%. Chrupki otrzymane z peletów przesuszonych lub niedosuszonych charakteryzują się niewłaściwą strukturą i konsystencją, która jest zbyt twarda i mało chrupka [Kita i wsp., 2002; Pęksa i wsp., 2004].

Prócz czynników surowcowych również parametry procesu technologicznego oddziałują na konsystencję finalnego produktu [Gamble i Rice, 1987a; Blahovec i wsp., 1999; Grizotto i Mezemes, 2002]. Ciepły ziemniaczane otrzymywane z cienkich plasterków ziemniaka charakteryzują się delikatniejszą i mniej twardą konsystencją w porównaniu z chipsami z grubszych plasterków [Kita, 2002a; Segnini i wsp., 1999b]. Ilość zaadsorbowanego tłuszczu podczas smażenia również oddziałuje na ten wyróżnik jakościowy. Stwierdzono, że chipsy ziemniaczane o wysokiej zawartości tłuszczu (powyżej 40%) charakteryzowały się mazistą, mało chrupką konsystencją, natomiast o zbyt niskiej zawartości tłuszczu były zbyt twarde [Lisińska i Leszczyński, 1989]. Zarówno w chipsach ziemniaczanych, jak i chrupkach istotne znaczenie odgrywa wysmażenie produktów do odpowiedniej niskiej wilgotności. Zbyt duża zawartość wody powoduje, że produkty nie są chrupkie i delikatne. Niska zawartość wody odgrywa również kluczową rolę w zapewnieniu odpowiedniej jakości – między innymi konsystencji, podczas przechowywania gotowych produktów [Kita, 2002b, Lisińska i Leszczyński, 1989].

Przeprowadzone badania przechowalnicze wykazały, że wraz ze zwiększaniem zawartości wody przez przechowywane produkty zmianom ulega ich konsystencja. Zarówno chipsy, jak i chrupki, tracą charakterystyczną chrupkość i kruchość, i stają się twarde. Tempo zachodzących niekorzystnych przemian zależy od początkowej wilgotności produktów, rodzaju stosowanych dodatków (np. przyprawy), rodzaju opakowań oraz warunków i czasu przechowywania [Kita i wsp., 2000; Kita, 2001; Kita, 2002a; Kita i wsp., 2003]. Im wyższa początkowa wilgotność gotowych produktów przekąskowych, tym szybsze zmiany konsystencji podczas przechowywania. Okazuje się, że rodzaj stosowanych przypraw również oddziałuje na tempo absorpcji wody przez przechowywany produkt. W przeprowadzonych badaniach przechowalniczych wykazano, że chipsy z dodatkiem przyprawy serowo-cebulowej wchłaniały znacznie mniej wody w porównaniu z chipsami paprykowymi i charakteryzowały się lepszą konsystencją [Kita, 2001]. Rodzaj opakowania – szczególnie odpowiednia barierowość wobec pary wodnej, również zabezpiecza przechowywany produkt przed niekorzystnymi zmianami konsystencji. Istotną rolę odgrywają także warunki przechowywania. Prowadzone szybkie testy przechowalnicze w warunkach krytycznych (temperatura 40 °C (313,15 K), wilgotność względna 80%) wykazały, że chipsy przechowywane w warunkach o podwyższonej wilgotności wchłaniały większe ilości wody w porównaniu z chipsami przechowywanymi standardowo [Kita i wsp., 2003a].

Konsystencję oraz pozostałe wyróżniki jakości produktów spożywczych ocenia się metodami sensorycznymi jak i coraz częściej metodami instrumentalnymi, pozwalającymi na zobjektywizowanie ocen [Szcześniak i Hall, 1975; Surmacka-Szcześniak, 1988; Guraya i Toledo, 1996; Lima i Singh, 2001; Bourne, 2002a; Bourne, 2002b; Ross i Scanlon, 2004]. Analiza instrumentalna znalazła zastosowanie przede wszystkim przy ocenie barwy oraz tekstury produktów spożywczych. Zastosowanie różnego typu aparatów pomiarowych i testów pozwala na analizę różnych składowych tworzących teksturę produktów. Wyniki analizy instrumentalnej tekstury smażonych produktów przekąskowych w dużej mierze skorelowane są z wynikami ocen sensorycznych [Bourne, 2002b; Fahloul i Scanlon, 1996; Hońska i wsp., 1996; Kita, 2002b].

**Ilość zaadsorbowanego tłuszczu** podczas smażenia produktów przekąskowych to kolejny istotny czynnik wpływający na ich jakość. Wysoka zawartość tłuszczu zarówno w chipsach, jak i chrupkach wpływa na ich niepowtarzalne właściwości sensoryczne, a także odgrywa kluczową rolę podczas przechowywania.

Proces pochłaniania tłuszczu opisywany jest przy użyciu dwóch różnych mechanizmów: ciągłej absorpcji tłuszczu w następstwie częściowej wymiany masy pomiędzy medium smaźalniczym, a odparowywaną wodą oraz jako proces absorpcji, który następuje gdy smażenie jest praktycznie zakończone [Saguy i Dana, 2003]. W pierwszym z mechanizmów usuwana woda powoduje zmiany w strukturze komórkowej smażonego materiału tworząc sieć drobnych kanalików, w które bezpośrednio po odparowaniu wody wnika tłuszcz smaźalniczy. Większość tłuszczu wchłaniana jest podczas początkowych 20 s smażenia [McDonough i wsp., 1993; Moreira i wsp., 1997]. Drugi z mechanizmów opisuje absorpcję tłuszczu jako zjawisko zachodzące podczas ochładzania produktu po zakończonym wcześniej smażeniu. Podczas smażenia część wody wewnątrz produktu przechodzi w parę wodną i wywołuje przy tym pewne ciśnienie. Następnie poprzez sieć kapilar i kanalików w strukturze komórkowej jest usuwana na zewnątrz. Olej znajdujący się na powierzchni smażonego produktu lub częściowo wnikaający w wolne przestrzenie jest ciągle wypychany przez tworzącą się parę wodną. Proces trwa tak długo jak tworzona jest i usuwana ze smażonego materiału para wodna. Podczas ochładzania produktu wewnętrzne podciśnienie zmniejsza się w wyniku kondensacji i powstaje tzw. „efekt próżni”. To pozwala na wnikięcie tłuszczu do produktu, przy czym głębokość penetracji jest ograniczona do około 1 mm [Lamberg i wsp., 1990; Ufheil i Escher, 1996; Saguy i wsp., 1997].

Ilość adsorbowanego tłuszczu podczas smażenia uzależniona jest od wielu czynników – zarówno surowcowych, jak i technologicznych [Gamble i Rice, 1987; Gamble i wsp., 1987; Lisińska i wsp., 1989; Pinthus i wsp., 1993; Pinthus i wsp., 1995; Ufheil i Escher, 1996; Kita i wsp., 1998; Jonnalagadda i wsp., 2000; Garayo i Moreira, 2002; Garcia i wsp., 2002; Senthil i wsp., 2002; Debnath i wsp., 2003; Mellema, 2003]. Spośród czynników surowcowych wpływ odgrywa zarówno skład chemiczny surowca, jak i rodzaj oraz jakość medium smaźalniczego. Analizując wpływ składu chemicznego ziemniaka na zawartość tłuszczu w chipsach stwierdzono, że im wyższa zawartość suchej masy w bulwach ziemniaka, tym mniejszą zawartością tłuszczu charakteryzowały się wytworzone chipsy [Gamble i wsp., 1987b]. Z kolei w produktach takich jak chrupki istotny wpływ na adsorpcję tłuszczu podczas smażenia odgrywa skład recepturowy mieszaniny, z której wytworzono pelety [Annapure i wsp., 1999; Pęksa i wsp., 2004; Pęksa, 2006]. Okazuje się, że nawet kilkuprocentowy dodatek błonnika w istotny sposób obniża zawartość tłuszczu w otrzymanych chrupkach [Pęksa i wsp., 2004]. Ilość pochłanianego tłuszczu uzależniona jest także w dużej mierze od kształtu i wielkości smażonych części. Badając wpływ grubości plasterków ziemniaka na ilość zaadsorbowanego tłuszczu przez chipsy ziemniaczane wykazano, że wraz ze zwiększaniem grubości plasterków ziemniaka zmniejszała się zawartość tłuszczu w wytworzonych chipsach [Kita i wsp., 1998].

Ilość zaadsorbowanego tłuszczu uzależniona jest także od rodzaju tłuszczu smaźalniczego. Okazuje się, że w zależności od rodzaju użytego medium smaźalniczego gotowy produkt może zawierać różną ilość tłuszczu [Rani i Chauhan, 1995; Kita i wsp., 2005, Kita i Lisińska, 2005]. Rani i Chauhan [1995] smażyli chipsy ziemniaczane w rafinowanych olejach sojowym i arachidowym oraz w tłuszczu uwodornionym. Stwierdzili, że największe ilości tłuszczu smaźalniczego wchłaniały chipsy smażone w tłuszczu uwodornionym. Z kolei Annapure i wsp. [1998] porównując zawartość tłuszczu w chrupkach smażonych w różnych tłuszczach roślinnych, wykazali, że większą zawartością tłuszczu charakteryzowały się chrupki smażone w rafinowanym oleju arachidowym w porównaniu z olejem uwodornionym.

Ilość adsorbowanego tłuszczu zmienia się wraz z właściwościami medium smaźalniczego. Wykazano, że im gorszej jakości tłuszcz smaźalniczy – o większej zawartości produktów degradacji, tym większą zawartością tłuszczu charakteryzują się smażone produkty [Dobarganes i wsp., 2000]. W przeprowadzonych badaniach z użyciem rafinowanego oleju rzepakowego oraz tłuszczów poddanych uwodornieniu, zależność taką stwierdzono tylko we frytkach smażonych w tłuszczach modyfikowanych. Natomiast frytki smażone w oleju rzepakowym wchłaniały taką samą ilość tłuszczu niezależnie od stopnia degradacji medium smaźalniczego [Kita i wsp., 2005]. Podobną zależność stwierdzili Moreira i wsp. [1997] porównując zawartość tłuszczu w tortillach smażonych w świeżym i zdegradowanym oleju sojowym. Pomimo że produkty smażone w świeżym oleju podczas ochładzania wchłaniały większe ilości oleju smaźalniczego, zawartość tłuszczu w gotowych produktach kształtowała się na tym samym poziomie.

Równie istotną rolę w kształtowaniu tego wyróżnika jakościowego odgrywiają parametry technologiczne, a przede wszystkim przebieg procesu smażenia. Stosowanie takich zabiegów jak blanszowanie, wstępne podsuszanie czy też nanoszenie na powierzchnię produktów różnego typu substancji stanowiących pewnego typu barierę ogranicza ilość tłuszczu wchłanianego podczas smażenia [Gamble i wsp., 1987; Moreira i wsp., 1997; Bungler i wsp., 2003; Debnath i wsp., 2003; Mellema, 2003]. Z kolei im większa powierzchnia bądź większy stosunek objętości oleju smaźalniczego do ilości produktu wprowadzanego jednorazowo do smaźalnika, tym większą zawartością tłuszczu charakteryzują się gotowe produkty [Lusas i Rooney, 2002]. Wpływ temperatury smażenia na ilość adsorbowanego tłuszczu jest niejednoznaczny. Niektórzy badacze wykazali, że wraz ze zwiększaniem temperatury smażenia wzrasta ilość pochłanianego przez smażony produkt tłuszczu [Krokida i wsp., 2000]. W innych badaniach stwierdzono odwrotną zależność – produkty smażone w wyższych temperaturach zawierały mniej tłuszczu [Pinthus i wsp., 1995]. Natomiast Gamble i wsp. [1987b] oraz Guillaumin (1988) nie znaleźli żadnej zależności pomiędzy temperaturą smażenia (w zakresie 150–180 °C) (423,15–453,15 K), a zawartością tłuszczu w otrzymanych produktach. Z kolei Garayo i Moreira (2002) porównując zawartość tłuszczu w chipsach smażonych w warunkach ciśnienia atmosferycznego oraz pod obniżonym ciśnieniem wykazali, że zastosowanie obniżonego ciśnienia pozwala otrzymać chipsy o mniejszej zawartości tłuszczu niezależnie od stosowanej temperatury.

Z procesem smażenia, od kilku ostatnich lat, związana jest także obecność niepożądanego związku – akrylamidu (AA), w omawianych produktach przekąskowych. **Akrylamid** jest znanym związkiem chemicznym produkowanym na skalę przemysłową od wielu lat. Stosowany jest między innymi do syntezy popularnego polimeru – poliakrylamidu, który z kolei znajduje zastosowanie do oczyszczania wody pitnej, produkcji opakowań, w przemyśle tekstylnym itp. [Friedman, 2003; Claeys i wsp., 2005]. Akrylamid zaliczany jest do związków o działaniu potencjalnie kancerogennym dla człowieka (grupa 2A) [IARC, 1994] i wyznaczone zostały limity dotyczące jego ilości przede wszystkim w wodzie pitnej – 0,5 ug AA/kg [WHO, 1996], a także produktach pakowanych w plastikowe opakowania – 10 ug AA/kg [E.C., 1992]. Badania szwedzkich naukowców opublikowane w 2002 roku wykazały, że akrylamid znajduje się w różnego rodzaju produktach spożywczych w ilościach często przekraczających obowiązujące limity [Rösen i wsp., 2002; Tareke i wsp., 2002]. Szczególnie duże ilości akrylamidu stwierdzono w produktach otrzymywanych z ziemniaka, tj. chipsów ziemniaczanych (170–3700 µg/kg) i frytek (200–12000 µg/kg) [Friedman, 2003]. Ze względu na nieznaną źródło pochodzenia tego związku wysnuto kilka hipotez wyjaśniających mechanizm tworzenia akrylamidu w żywności poddawanej obróbce termicznej, takiej jak pieczenie, smażenie, prażenie itp. W najbardziej prawdopodobnym mechanizmie, tworzenie akrylamidu związane jest z barwnymi reakcjami Maillarda [Mottram i wsp., 2002; Stadler i wsp., 2002; Yaylayan i wsp., 2003; Zyzak i wsp., 2003]. W wyniku reakcji pomiędzy aminokwasami – asparaginą, a reaktywnym karbonylem (np. glukoza, fruktoza) poprzez kilka etapów uwzględniających tworzenie zasady Schiff'a, dochodzi do powstania akrylamidu. Inni badacze w grono reagentów biorących udział w powstawaniu akrylamidu włączyli akroleinę, która tworzy się w wyniku przemiany tłuszczów bądź degradacji aminokwasów i białek [Gertz i Klostermann, 2002; Lingert i wsp., 2002]. Akroleina utleniając się do kwasu akrylowego, a następnie reakcji kwasu akrylowego z amoniakiem może tworzyć akrylamid. W kolejnym mechanizmie sugerowano, że akrylamid powstaje bezpośrednio jako produkt reakcji innych związków zawierających azot (np. alaniny), z wyłączeniem akroleiny [Becalski i wsp., 2004; Weisshaar, 2004].

Przeprowadzono szereg modelowych doświadczeń z użyciem różnorodnych matryc. Porównywano tempo tworzenia akrylamidu w produktach wysokobiałkowych z produktami węglowodanowymi [Tareke i wsp., 2002; Vatted i Shetty, 2003]. Okazało się, że tempo tworzenia akrylamidu w produktach węglowodanowych jest kilkakrotnie wyższe niż w białkowych, a wiąże się to bezpośrednio z ilościami występujących w materiale reagentów. Ponieważ głównymi substratami biorącymi udział w reakcji są cukry redukujące i asparagina, od ich zawartości bezpośrednio uzależniona jest ilość powstającego podczas przetwarzania żywności akrylamidu. W produktach otrzymywanych z ziemniaka czynnikiem limitującym jest zawartość cukrów redukujących, natomiast w produktach zbożowych – zawartość asparaginy [Claeys i wsp., 2005]. Prócz zawartości prekursorów akrylamidu w przetwarzanym surowcu równie istotną rolę w syntezie tego związku odgrywają parametry reakcji. Wykazano, że akrylamid tworzy się podczas obróbki termicznej w temperaturze powyżej 120 °C (293,15 K) i wraz ze zwiększaniem temperatury, wzrasta tempo powstawania akrylamidu [Mottram i wsp., 2002; Stadler i wsp., 2002].

Wyznaczono optymalne temperatury, w których synteza akrylamidu przebiega z największą szybkością, a powyżej których zaczynają przeważać reakcje jego rozkładu. W produkcji przetworów ziemniaczanych tempo tworzenia akrylamidu istotnie wzrasta w temperaturach powyżej 175 °C [Gertz i Klostermann, 2002], natomiast w produktach zbożowych osiąga maksimum w temperaturze około 180 °C [Clayes i wsp., 2005]. Tempo tworzenia akrylamidu podczas obróbki termicznej żywności jest nierównomierne. Akrylamid powstaje przede wszystkim w końcowym etapie pieczenia, smażenia, kiedy większość znajdującej się w materiale wody zostaje usunięta, a na powierzchni przetwarzanego produktu intensywnie przebiegają reakcje brązowienia [Claeys i wsp., 2005]. Prócz temperatury i czasu obróbki termicznej istotną rolę odgrywają też: wilgotność materiału i jego aktywność wody ( $a_w$ ), pH, rodzaj medium grzejnego i stosowanie różnych substancji dodatkowych (np. antyoksydantów, substancji zapobiegających pienieniu tłuszczu) [Gertz i Klostermann, 2002; Haase i wsp., 2003; Jung i wsp., 2003; Rydberg i wsp., 2003; Pedreschi i wsp., 2004; Taulbert i wsp., 2004; Pedreschi i wsp., 2005; Williams, 2005]. Tworzenie akrylamidu jest typowo powierzchniowym zjawiskiem i stąd w próbach o wysokiej zawartości wody, takich jak surowy ziemniak czy też ciasto prawie w ogóle nie dochodzi do powstawania tego związku. Najwięcej akrylamidu tworzy się w produktach ziemniaczanych, gdy wilgotność materiału wynosi od 10–20% [Clayes, 2005]. Synteza akrylamidu tak jak i innych produktów reakcji Maillarda bezpośrednio uzależniona jest od pH środowiska. pH wpływa na reaktywność zarówno cukrów, jak i grup aminowych. Stwierdzono, że optymalne pH przy tworzeniu akrylamidu wynosi pomiędzy 7 – 8. Obniżenie pH wpływa na zmianę grup aminowych asparaginy, które następnie blokują powstawanie zasady Schiff'a i jednocześnie akrylamidu [Jung i wsp., 2003; Weisshaar, 2004]. Kolejnym czynnikiem jest rodzaj stosowanego medium grzejnego, którym jest powietrze bądź w przypadku smażenia tłuszcz smażalniczy. Wykazano, że rodzaj użytego tłuszczu smażalniczego oraz stosowanie takich dodatków jak substancje zapobiegające powstawaniu piany, wpływają na przebieg wymiany ciepła poprzez zmianę napięcia powierzchniowego oleju [Gertz i Klostermann, 2002; Weisshaar, 2004]. To z kolei może oddziaływać na tempo tworzenia akrylamidu. Stwierdzono także, że na ilość tworzonego akrylamidu wpływa rodzaj smażalnika oraz stosunek wkładu do objętości oleju smażalniczego [Claeys, 2005].

Równoległe z pracami pozwalającymi na coraz bardziej dogłębne poznanie mechanizmu tworzenia akrylamidu w różnego rodzaju produktach spożywczych, prowadzono badania nad opracowaniem metod pozwalających wyeliminować lub zminimalizować ilość tworzącego się akrylamidu. Wśród metod ograniczających tworzenie akrylamidu w produktach spożywczych można wyróżnić dwie podstawowe grupy: metody polegające na obniżeniu zawartości prekursorów akrylamidu w surowcu oraz metody, w których dzięki zmianie parametrów technologicznych hamuje się lub blokuje tworzenie akrylamidu. Do pierwszej z grup w przypadku produktów ziemniaczanych zalicza się przede wszystkim dobór odpowiednich odmian ziemniaka charakteryzujących się niską zawartością cukrów redukujących [Amrein i wsp., 2003; Becalski i wsp., 2004]. Taka selekcja prowadzona jest od lat przez producentów czipsów i frytek ziemniaczanych, którzy ze względu na barwę otrzymywanych produktów określili dopuszczalny poziom zawartości



cukrów redukujących w bulwach ziemniaka. Dobrano również odpowiednie warunki (przede wszystkim temperaturę) przy przechowywaniu ziemniaków, tak aby nie dochodziło do akumulacji cukrów redukujących w bulwach [Blenkisp i wsp., 2002; Noti i wsp., 2003; Olsson i wsp., 2004]. Ze względu na rolę cukrów w tworzeniu odpowiedniej barwy smażonych produktów, a także nadawaniu im specyficznego smaku pewna ilość cukrów jest jednakże pożądana. Opatentowano skuteczną metodę pozwalającą na wyeliminowanie z przetwarzanego surowca drugiego z prekursorów akrylamidu – asparaginy, dzięki użyciu asparaginazy [Durstun, 2005]. Enzym ten przekształca asparaginę w kwas asparaginowy, który nie bierze udziału w syntezie akrylamidu. Ze względu na koszty zastosowanie takiego rozwiązania nie jest brane pod uwagę na szerszą skalę.

Czipsy bądź frytki otrzymywane z odmian ziemniaka o zbliżonej zawartości cukrów redukujących często charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością akrylamidu, dlatego można sądzić, że przebieg procesu technologicznego odgrywa równie istotną rolę w syntezie tego związku. Stosowane powszechnie blanszowanie pomimo częściowej ekstrakcji prekursorów (cukrów redukujących oraz asparaginy) nie wpływa istotnie na obniżenie zawartości akrylamidu [Pedreschi i wsp., 2004; Wicklund i wsp., 2006]. Natomiast jak wykazali Jung i wsp. (2003) bardzo skutecznym zabiegiem okazuje się blanszowanie lub moczenie w roztworach kwasów organicznych (np. kwasu cytrynowego), które dzięki obniżeniu pH hamuje reakcję tworzenia akrylamidu. Pozytywne efekty osiągnięto również wprowadzając do układu reakcyjnego inne aminokwasy niż asparagina [Rydberg i wsp., 2003]. Kluczową rolę odgrywa jednakże przebieg i parametry procesu termicznego, podczas którego dochodzi do właściwej reakcji. Obniżenie temperatury smażenia jest jednym z najprostszych sposobów zmniejszenia ilości akrylamidu w wytwarzanych produktach. Ponieważ akrylamid powstaje w końcowym etapie smażenia, niemniej istotne jest określenie minimalnego, acz wystarczającego czasu smażenia. Grob i wsp. (2003) poszukując skutecznych metod ograniczania zawartości akrylamidu we frytkach ziemniaczanych wykazali, że nawet kilkunastosekundowe przedłużenie czasu smażenia może z wielokrotnie zawartość akrylamidu w gotowym produkcie. Istotną rolę odgrywa również ilość jednorazowego wsadu do smażalnika – określono, że najefektywniejsza jest zasada 10% (objętość oleju smażalniczego do objętości jednorazowego wsadu 10 : 1). Odpowiedni dobór medium smażalniczego także może wpływać na tempo tworzenia akrylamidu. Gertz i Klosterman (2002) porównując zawartość akrylamidu we frytkach smażonych w różnych rodzajach tłuszczów stwierdzili, że produkty smażone w oleju palmowym charakteryzowały się wyższą zawartością akrylamidu. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu akrylamidu było stosowanie dodatków w postaci substancji zapobiegających pienieniu tłuszczu. Badano również wpływ dodatku przeciwutleniaczy na tworzenie akrylamidu, przy czym nie znaleziono zależności pomiędzy tymi czynnikami [Vattem i Shetty, 2003].

## 2. OMÓWIENIE I DYSKUSJA WYNIKÓW

Wyróżniki jakościowe produktów przekąskowych kształtowane są przede wszystkim w procesie smażenia. Stąd też w przedstawionym poniżej omówieniu wyników badań wchodzących w zakres prezentowanej rozprawy skupiono się na roli tego procesu, zarówno w aspekcie rodzaju użytego medium smażalniczego, jak i parametrów procesu. W pierwszej części omówiono wpływ rodzaju tłuszczu oraz temperatury smażenia na wybrane wyróżniki jakościowe czipsów ziemniaczanych (V). Następnie przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu rodzaju i jakości medium smażalniczego (stopnia degradacji) na właściwości świeżych (VI) oraz przechowywanych produktów przekąskowych (I, II, VII). W końcowej części omówiono wyniki badań dotyczących metod ograniczania tworzenia akrylamidu w procesie technologicznym produkcji czipsów ziemniaczanych (III, IV).

### 2.1. Wpływ rodzaju oleju i temperatury smażenia na zawartość tłuszczu, teksturę oraz właściwości sensoryczne czipsów ziemniaczanych (V)

Smażenie jest najważniejszym etapem procesu technologicznego w produkcji czipsów ziemniaczanych. Podczas smażenia kształtowana jest barwa, smak, zapach i konsystencja gotowego produktu. Na właściwości te w dużej mierze prócz jakości surowca wyjściowego – ziemniaka, wpływa zarówno rodzaj użytego medium smażalniczego, jak i parametry samego procesu.

W przeprowadzonym doświadczeniu badano cechy jakościowe czipsów ziemniaczanych smażonych w ośmiu różnych tłuszczach roślinnych ogrzewanych do trzech temperatur: 150 °C (423,15 K), 170 °C (443,15 K) oraz 190 °C (463,16 K). Porównywano w jaki sposób obniżenie temperatury smażenia czipsów, ze standardowej 185–190 °C (458,15–463,15 K), zalecane ze względu na zmniejszanie zawartości akrylamidu, wpływało na zawartość tłuszczu oraz konsystencję gotowych produktów. Użycie różnych tłuszczów roślinnych jako medium smażalniczego miało pomóc w zweryfikowaniu uzyskanych wyników, a także w znalezieniu zależności pomiędzy rodzajem medium smażalniczego, a właściwościami uzyskanych gotowych produktów.

Temperatura smażenia odgrywała istotną rolę w kształtowaniu obu badanych cech jakościowych czipsów ziemniaczanych. Wraz ze zwiększaniem temperatury smażenia czipsy chłonęły mniejsze ilości tłuszczu, niezależnie od rodzaju użytego medium smażalniczego. Rozpatrując wpływ rodzaju tłuszczu użytego do smażenia, stwierdzono istot-

ne różnice pomiędzy czipsami smażonymi w różnych mediach smażalniczych. Niezależnie od temperatury smażenia najmniej tłuszczu chłonęły czipsy smażone w oleju rzepakowym, a najwięcej w tłuszczu modyfikowanym (mieszanie oleju palmowego i uwodornionego oleju rzepakowego).

Podczas smażenia kształtowana była charakterystyczna chrupka konsystencja czipsów ziemniaczanych. Otrzymane czipsy różniły się twardością w zależności od temperatury smażenia i rodzaju oleju użytego do smażenia. Porównując konsystencję czipsów w zależności od temperatury smażenia, bez różnicowania olejów smażalniczych, istotnie różniła się konsystencja czipsów smażonych w temperaturze 150 °C (423,15 K), (zbyt twarda) oraz w 170 °C (443,15 K) i 190 °C (463,15 K), (chrupka i delikatna). Rodzaj medium smażalniczego również różnicował konsystencję otrzymanych produktów. Czipsy o chrupkiej i najbardziej delikatnej konsystencji otrzymano stosując jako medium smażalnicze olej arachidowy lub rzepakowy. Czipsy smażone w tych olejach charakteryzowały się najbardziej pożądaną teksturą.

Poszukując zależności pomiędzy składem kwasów tłuszczowych medium smażalniczego, a konsystencją otrzymanych czipsów stwierdzono, że podczas smażenia czipsów w rafinowanych olejach roślinnych ich konsystencja skorelowana była z zawartością kwasu oleinowego w tłuszczu smażalniczym.

Istniejące zależności pomiędzy omówionymi parametrami potwierdziły wyznaczone współczynniki korelacji. Zarówno rodzaj tłuszczu, jak i temperatura smażenia wpływały istotnie na zawartość tłuszczu i konsystencję czipsów ziemniaczanych. Ilość pochłoniętego przez czipsy tłuszczu była również skorelowana z ich konsystencją.

Zarówno zawartość tłuszczu, jak i konsystencję czipsów ziemniaczanych można odpowiednio zmieniać stosując do smażenia różne rodzaje tłuszczów. Obniżanie temperatury smażenia do 170 °C (443,15 K) wpływało na zwiększenie zawartości tłuszczu, jednakże nie zmieniało w istotny sposób konsystencji gotowych produktów.

## **2.2. Wpływ rodzaju i stopnia degradacji oleju smażalniczego na jakość otrzymywanych czipsów ziemniaczanych i chrupek (VI)**

Kolejnym czynnikiem kształtującym jakość smażonych produktów przekąskowych, tj. czipsów ziemniaczanych i różnego rodzaju chrupek, prócz rodzaju użytego tłuszczu smażalniczego, była również jego jakość, która zmieniała się wraz z wydłużaniem czasu trwania obróbki termicznej. Wskutek działania wysokiej temperatury stosowanej w procesie smażenia oraz interakcji pomiędzy smażonym produktem, a medium smażalniczym, tłuszcz smażalniczy ulegał degradacji. Tempo degradacji tłuszczu uzależnione było od jego rodzaju, a także przebiegu procesu smażenia. W przeprowadzonym doświadczeniu użyto czterech różnych tłuszczów roślinnych: rafinowany olej słonecznikowy, rzepakowy, palmowy oraz uwodorniony olej rzepakowy (tłuszcz modyfikowany), w których przez 40 godzin ogrzewania w temperaturze 185 °C (458,15 K), w cyklach jednogodzinnych smażono czipsy ziemniaczane oraz chrupki (używając jako półproduktu

ekstrudowane pelety pszenne). Smażenia prowadzono przez 8 godzin dziennie, a próby do analiz pobierano po każdym dniu smażenia.

Użyte w doświadczeniu tłuszcze smaźalnicze charakteryzowały się zróżnicowanym składem kwasów tłuszczowych i właściwościami fizykochemicznymi (tab. 1). Podczas smażenia tłuszcze ulegały stopniowej degradacji. Przemiany związane z hydrolizą tłuszczów przedstawiono jako zmiany zawartości wolnych kwasów tłuszczowych (rys. 3 i 4). Tłuszcze świeże charakteryzowały się podobną, niską zawartością wolnych kwasów tłuszczowych (<0,2%). Podczas kolejnych godzin smażenia i ogrzewania tłuszczu obserwowano stopniowy wzrost zawartości wolnych kwasów tłuszczowych we wszystkich rodzajach tłuszczów. Przemiany hydrolityczne w olejach rzepakowym, słonecznikowym i tłuszczu modyfikowanym zachodziły w podobnym tempie niezależnie, czy smażono w nich chipsy lub chrupki. Natomiast w oleju palmowym większe tempo tworzenia wolnych kwasów tłuszczowych obserwowano podczas smażenia chrupki. Podobne zależności stwierdzili inni autorzy porównując tempo przemian hydrolitycznych zachodzących w różnych olejach podczas kilkudziesięciogodzinnej obróbki termicznej. Olej palmowy i jego frakcje oraz oleje poddawane uwodornieniu wykazywały większą podatność na hydrolizę w porównaniu z innymi olejami roślinnymi [Che Man i wsp., 1998; Che Man i wsp., 1999a; Che Man i wsp., 1999b; du Plessis i Meredith, 1999; Che Man i wsp., 2003].

Tabela 1  
Table 1

Charakterystyka tłuszczów użytych jako media smaźalnicze do smażenia chipsów ziemniaczanych i chrupki (VI)

Characteristics of oils used as frying media for potato chips and crisps frying (VI)

Tłuszcz smaźalniczy Frying oil	Skład ważniejszych kwasów tłuszczowych [%] Composition of important fatty acids [%]					Trans-izomery Trans isomer [%]	Liczba jodowa Iodine value	Liczba anizydynowa Anisidine value	Wolne kwasy tłuszczowe Free fatty acids [% C18:1]	Fracja polarna Polar fraction [%]
	C 16:0*	C 18:0	C 18:1	C 18:2	C 18:3					
Olej rzepakowy Rapeseed oil	4,6	1,9	58,1	17,7	9,0	0,1	106	2	0,11	2,5
Olej słonecznikowy Sunflower oil	5,8	3,6	30,2	58,2	0,7	0	122	6	0,05	5,0
Olej palmowy Palm oil	42,5	4,8	39,8	9,2	0,2	1,1	55	2	0,1	2,1
Tłuszcz modyfikowany Modified oil	5,1	2,7	71,1	3,4	0,3	10,3	81	2	0,1	2,5

\* indeks oznacza długość łańcucha węglowodorowego i stopień jego nienasycenia

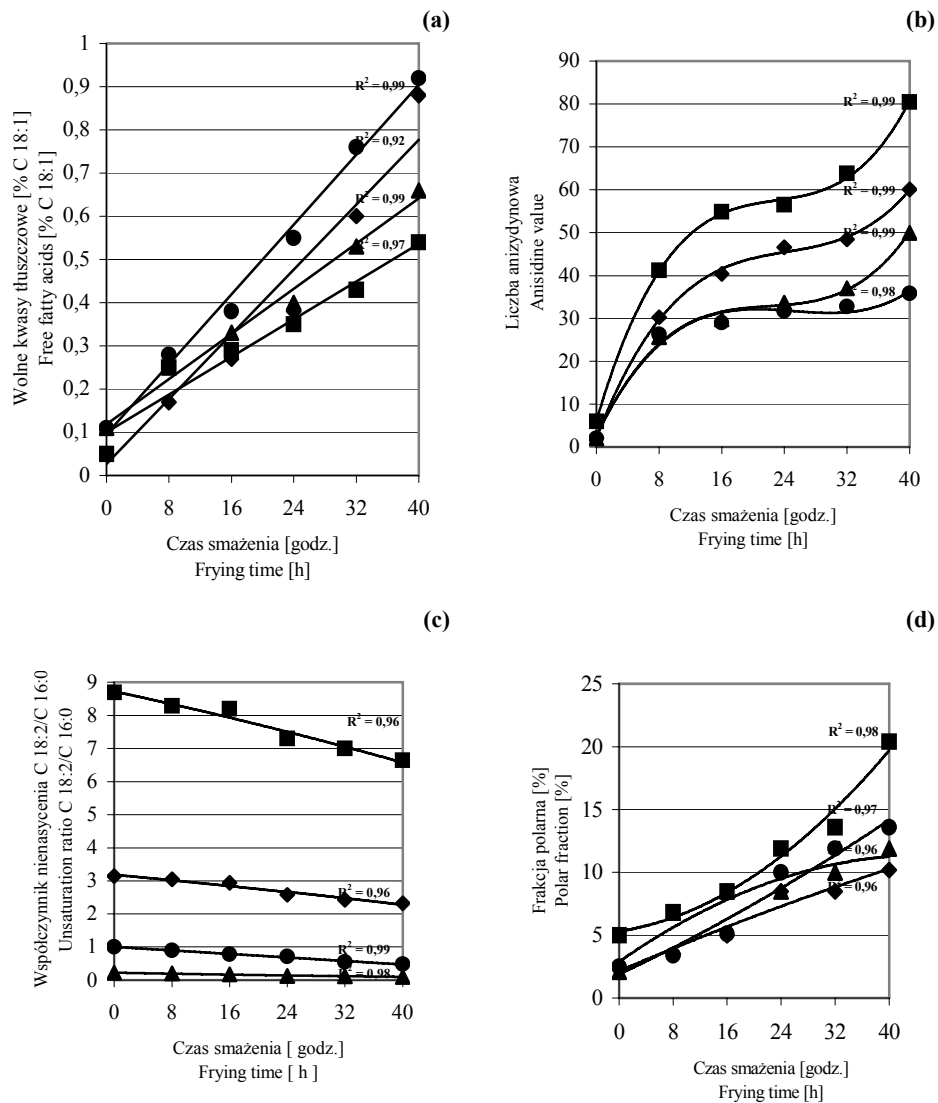
\* index means the length of hydrocarbon chain and its degree of unsaturation

Zmiany oksydacyjne zobrazowane zostały zmianami liczby anizydynowej (LAn) odzwierciedlającej ilość produktów wtórnych powstających podczas utleniania tłuszczów (rys. 3 i 4). Wszystkie tłuszcze świeże charakteryzowały się małymi wartościami LAn. Istotny wzrost liczby anizydynowej obserwowano już po pierwszych 8 godzinach smażenia chipsów lub chrupek i ogrzewania olejów. Najintensywniej wartość LAn wzrastała w oleju słonecznikowym, natomiast największą stabilnością oksydacyjną, niezależnie od rodzaju smażonego produktu, charakteryzował się tłuszcz modyfikowany. Przemiany oksydacyjne zachodziły z większą intensywnością w olejach podczas smażenia chrupek w porównaniu z tłuszczami, w których smażono chipsy ziemniaczane.

Zmiany zachodzące w medium smaźalniczym podczas smażenia wpływały bezpośrednio na skład kwasów tłuszczowych. Tempo degradacji tłuszczu smaźalniczego zobrazowano zmianami zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych, jako współczynnik nienasylenia C18:2/C16:0 (rys. 3 i 4). Wraz z wydłużaniem czasu smażenia i ogrzewania tłuszczów dochodziło do częściowego rozkładu głównie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, a zwiększał się procentowy udział kwasów nasyconych. Ze względu na zróżnicowany skład użytych tłuszczów smaźalniczych, najbardziej narażone na niekorzystne przemiany były tłuszcze zawierające największe ilości kwasów nienasyconych i stąd największe zmiany wyznaczonego współczynnika obserwowano w oleju słonecznikowym, a następnie w oleju rzepakowym. Dużą stabilnością charakteryzowały się natomiast olej palmowy oraz tłuszcz modyfikowany. Rodzaj smażonego produktu także wpływał na tempo rozkładu kwasów wielonienasyconych. Oleje słonecznikowy i rzepakowy użyte do smażenia chrupek, w kolejnych godzinach obróbki termicznej charakteryzowały się niższym współczynnikiem w porównaniu z tymi samymi olejami użytymi do smażenia chipsów ziemniaczanych.

Zmiany w składzie kwasów tłuszczowych olejów smaźalniczych w kolejnych godzinach smażenia obserwowali również inni autorzy [Sharma i wsp., 1996; Romero i wsp., 1998; Tynek i wsp., 200; Kita i wsp., 2005]. Tempo zachodzących zmian w dużej mierze zależało od rodzaju medium smaźalniczego, a także smażonej żywności. Jeśli produkty były wcześniej podsmażane, to podczas właściwego smażenia dochodziło do wymiany tłuszczu pomiędzy produktem, a medium smaźalniczym [Romero i wsp., 1998; Hazuka i wsp., 2000].

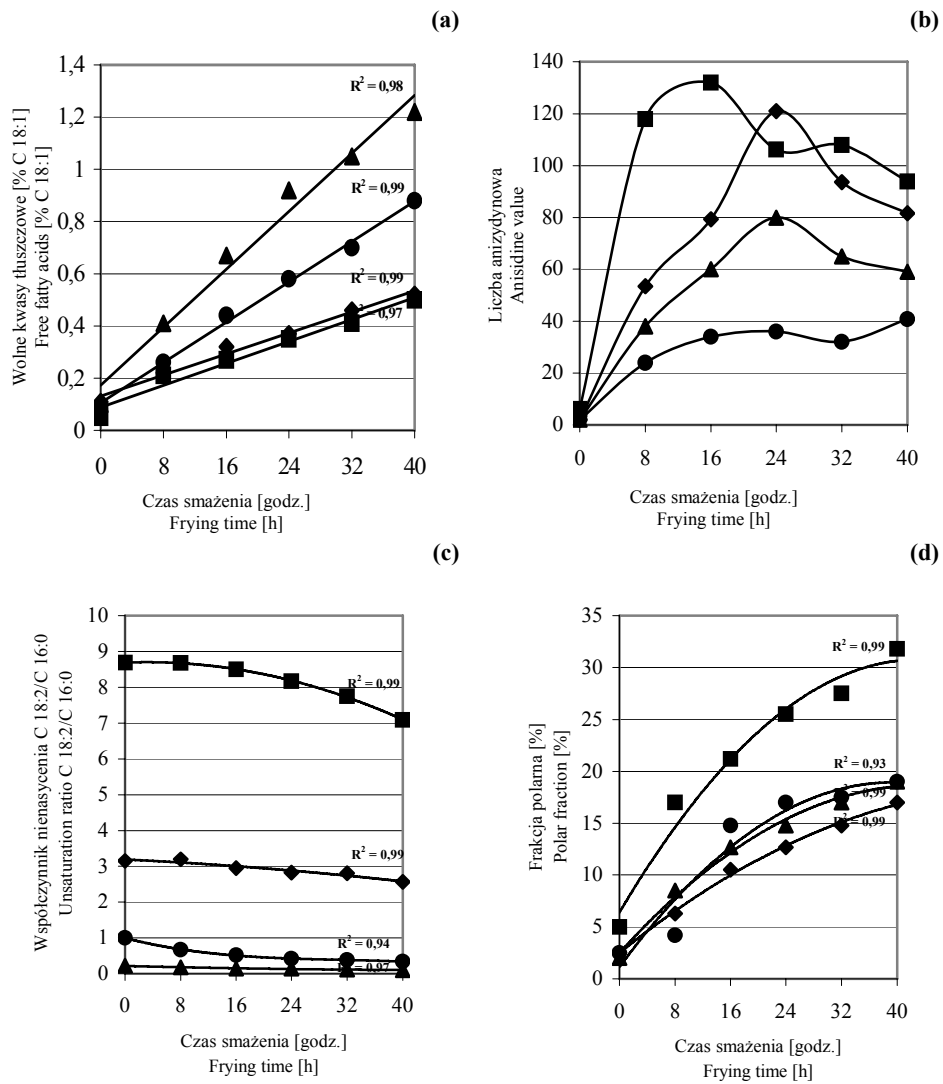
Kolejnym istotnym wyróżnikiem jakości tłuszczów smaźalniczych była zawartość frakcji polarnej tłuszczu. Zawartość związków polarnych w tłuszczach świeżych kształtowała się na poziomie kilku procent (2–5%), jednakże proces długotrwałego ogrzewania tłuszczu w wysokiej temperaturze sprzyjał ich tworzeniu. W analizowanym doświadczeniu tłuszcze świeże charakteryzowały się niską zawartością frakcji polarnej (rys. 3 i 4). W kolejnych dniach procesu obserwowano stopniowe zwiększanie zawartości frakcji polarnej, przy czym najintensywniej wzrastała zawartość związków polarnych w oleju słonecznikowym, a najmniej w tłuszczu modyfikowanym. Po zakończonym okresie smażenia i ogrzewania olejów zawartość frakcji polarnej jedynie w oleju słonecznikowym używanym do smażenia chrupek przekroczyła wartość 25%.



◆ olej rzepakowy – rapeseed oil ■ olej słonecznikowy – sunflower oil ▲ olej palmowy – palm oil  
● tłuszcz modyfikowany – modified oil

Rys. 3. Zmiany (a) zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, (b) liczby anizydynowej, (c) współczynnika nienasyceń C18:2/C16:0, (d) zawartości frakcji polarnej tłuszczów smaźalniczych podczas smażenia przez 40 godzin czipsów (VI)

Fig. 3. The changes of (a) free fatty acids, (b) anisidine value, (c) C18:2/C16:0 ratio, (d) polar fraction content of oils during 40 h frying of potato chips (VI)



◆ olej rzepakowy – rapeseed oil ■ olej słonecznikowy – sunflower oil  
 ▲ olej palmowy – palm oil ● tłuszcz modyfikowany – modified oil  
 Rys. 4. Zmiany (a) zawartości wolnych kwasów tłuszczowych, (b) liczby anizydynowej,  
 (c) współczynnika nienasylenia C18:2/C16:0, (d) zawartości frakcji polarej tłuszczów  
 smaźalniczych podczas smażenia przez 40 godzin chrupek (VI)  
 Fig. 4. The changes of (a) free fatty acids, (b) anisidine value, (c) C18:2/C16:0 ratio,  
 (d) polar fraction content of oils during 40 h frying of crisps (VI)

Tempo tworzenia związków polarnych w dużym stopniu zależy od rodzaju medium smaźalniczego oraz początkowej zawartości frakcji polarnej. W pracach innych autorów wykazano, że tłuszcze o wyższej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych oraz o niskiej zawartości wielonienasyconych kwasów tłuszczowych wykazywały znacznie większą stabilność w procesie smażenia i charakteryzowały się niższym tempem tworzenia związków polarnych [Barrera-Arellano i wsp., 2002; Bastida i wsp., 2002; Guida i wsp., 2003; Xu, 2003]. Stosowanie regularnego uzupełniania ubytków oleju świeżym tłuszczem smaźalniczym również zmniejszało ilość tworzących się związków polarnych [Romero i wsp., 1995; Romero i wsp., 1998; Romero i wsp., 2000; Romero i wsp., 2003]. Z kolei smażenie w wysokich temperaturach bądź samo ogrzewanie tłuszczu powodowało szybszą degradację tłuszczu i większą akumulację związków polarnych [Houhoula i wsp., 2003b]. W tłuszczach użytych do smażenia chrupek, których temperatura utrzymywała się na stałym poziomie, a czas smażenia był krótki, doszło do większej akumulacji związków polarnych, niż w tłuszczach, w których smażono chipsy ziemniaczane.

Rodzaj tłuszczu smaźalniczego wpływał bezpośrednio na właściwości uzyskanych produktów przekąskowych. W zależności od rodzaju medium smaźalniczego chipsy oraz chrupki chłoneły różną ilość tłuszczu (tab. 2 i 3). Spośród produktów przekąskowych smażonych w świeżych olejach najwyższą zawartością tłuszczu charakteryzowały się chipsy smażone w tłuszczu modyfikowanym oraz w oleju palmowym, natomiast odwrotne zależności obserwowano w przypadku chrupek. W kolejnych dniach smażenia stwierdzono zmniejszone wchłanianie tłuszczu w chipsach smażonych w tłuszczu modyfikowanym i w oleju palmowym, natomiast więcej tłuszczu chłoneły chipsy smażone w oleju rzepakowym i słonecznikowym.

Niektórzy autorzy podają, że wraz z postępującą degradacją medium smaźalniczego zwiększa się ilość adsorbowanego przez smażony produkt tłuszczu [Dobarganes i wsp., 2000]. Przeprowadzone wcześniej badania z użyciem frytek ziemniaczanych wykazały, że produkty smażone w rafinowanym oleju rzepakowym pochłaniały taką samą ilość tłuszczu niezależnie od stopnia degradacji medium smaźalniczego. Natomiast frytki smażone w tłuszczach uwodornionych chłoneły większe ilości tłuszczu w kolejnych dniach ogrzewania i smażenia [Kita i wsp., 2005]. Świadczy to, że na ilość pochłanianego przez smażone produkty tłuszczu wpływ ma nie tylko ilość powstających produktów degradacji, ale także ich rodzaj. Niemniej istotnym czynnikiem wpływającym na tę cechę jakościową smażonych produktów jest rodzaj produktu. Stosując inną matrycę surowcową przy otrzymywaniu chrupek – pelety, w porównaniu z plasterkami ziemniaka przy smażeniu chipsów ziemniaczanych, uzyskano produkty charakteryzujące się mniejszymi zawartościami tłuszczu. Stwierdzono również, że chrupki pochłaniały podobne ilości tłuszczu niezależnie od stopnia degradacji medium smaźalniczego (tab. 3).



Tabela 2  
Table 2

Zawartość tłuszczu i konsystencja czipsów ziemniaczanych smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji (VI)  
The fat uptake and texture of potato chips fried in oils of different degrees of degradation (VI)

	Czas smażenia [godz.] Frying time [h]	Rodzaj tłuszczu smaźalniczego Kind of frying oil			
		olej rzepakowy rapeseed oil	olej słonecznikowy sunflower oil	olej palmowy palm oil	tłuszcz modyfikowany modified oil
Zawartość tłuszczu [%]	1	35,6 aA	40,5 aB	42,4 cC	42,5 cC
Fat content [%]	8	36,9 aA	40,5 aB	41,9 bcC	42,5 cC
	16	40,4 bA	40,8 aA	40,6 bA	41,8 bB
	24	42,3 cB	41,3 abA	40,0 aA	40,8 aA
	32	42,9 cB	42,7 bB	39,7 aA	39,8 aA
	40	44,8 dC	42,8 bB	39,6 aA	39,7 aA
Konsystencja [N]	1	27,6 cB	22,6 cAB	19,1 aA	17,5 aA
Texture [N]	8	22,4 bA	20,9 bA	19,4 abA	18,9 abA
	16	21,6 bA	20,8 bA	20,0 abA	20,6 abA
	24	20,6 abAB	18,0 aA	25,7 bcB	21,1 abAB
	32	19,9 aAB	16,7 aA	25,8 bcB	23,0 abBC
	40	18,7 aAB	16,2 aA	28,9 cC	24,4 bBC

małe litery – istotne różnice w kolumnach  $\alpha \leq 0,05$ ; duże litery – istotne różnice pomiędzy kolumnami,  $\alpha \leq 0,05$   
lower-case letters – significant differences in columns,  $\alpha \leq 0,05$ ; capital letters – significant differences within columns,  $\alpha \leq 0,05$

Tabela 3  
Table 3

Zawartość tłuszczu i konsystencja chrupiek smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji (VI)  
The fat uptake and texture of crisps fried in oils of different degrees of degradation (VI)

	Czas smażenia [godz.] Frying time [h]	Rodzaj tłuszczu smaźalniczego Kind of frying oil			
		olej rzepakowy rapeseed oil	olej słonecznikowy sunflower oil	olej palmowy palm oil	tłuszcz modyfikowany modified oil
Zawartość tłuszczu [%]	1	24,5 cC	25,5 cD	22,1 aA	22,9 bB
Fat content [%]	8	21,4 bB	26,1 cC	25,6 bC	20,2 aA
	16	19,7 aA	22,0 bB	25,3 bC	22,8 bB
	24	19,0 aA	19,8 aB	25,1 bC	20,0 aB
	32	19,7 aB	20,1 aB	25,5 bC	19,4 aA
	40	19,2 aA	22,7 bB	24,1 bC	21,5 bB
Konsystencja [N]	1	19,9 aA	17,4 aA	18,6 aA	17,5 aA
Texture [N]	8	18,5 aBC	15,0 aA	20,9 abC	16,3 aAB
	16	18,6 aAB	17,8 aAB	19,4 abB	16,4 aA
	24	19,4 aB	17,2 aA	18,8 aAB	16,9 aA
	32	19,8 aA	17,6 aA	23,6 bB	20,1 bA
	40	18,4 aA	16,5 abA	23,5 bB	18,0 abA

małe litery – istotne różnice w kolumnach  $\alpha \leq 0,05$ ; duże litery – istotne różnice pomiędzy kolumnami,  $\alpha \leq 0,05$   
lower-case letters – significant differences in columns,  $\alpha \leq 0,05$ ; capital letters – significant differences within columns,  $\alpha \leq 0,05$

Zaadsorbowany tłuszcz smaźalniczy wpływał istotnie na kształtowanie właściwości sensorycznych gotowych produktów (tab. 4 i 5). Wszystkie produkty przekąskowe smaźone w świeżych olejach, niezależnie od rodzaju medium smaźalniczego, charakteryzowały się prawidłowymi cechami sensorycznymi. Ich właściwości ulegały niekorzystnym zmianom wraz z pogarszaniem jakości medium smaźalniczego. Zmiany barwy oleju smaźalniczego w kolejnych dniach trwania obróbki termicznej wpływały na barwę otrzymanych produktów. Najintensywniejsze zmiany barwy obserwowano w produktach smaźonych w zdegradowanym oleju słonecznikowym, natomiast najbardziej wyrównaną barwą charakteryzowały się chipsy i chrupki smaźone w oleju palmowym. Również takie wyróżniki jak smak i zapach, kształtujące aromat gotowych produktów uległy największym, niekorzystnym zmianom, gdy olejem smaźalniczym był olej słonecznikowy. Pojawienie się niekorzystnego smaku i zapachu związane było przede wszystkim ze zmianami oksydacyjnymi tłuszczu, które najintensywniej zachodziły w tym oleju. Che Man i wsp. (1999a) porównując smak i zapach chipsów ziemniaczanych smaźonych w oleju palmowym, sojowym i ich mieszaninach, stwierdzili, że stopień degradacji oleju odgrywał mniej znaczącą rolę w kształtowaniu aromatu gotowych produktów w porównaniu z rodzajem użytego medium smaźalniczego. Niemniej wyższe oceny uzyskały chipsy smaźone w oleju palmowym ogrzewanym i używanym do smażenia przez 5 kolejnych dni.

Rodzaj tłuszczu smaźalniczego wpływał również na kształtowanie konsystencji analizowanych produktów (tab. 2–5). Pomimo że konsystencję chipsów smaźonych we wszystkich świeżych tłuszczach oceniono maksymalną ilością punktów (tab. 4), w ocenie instrumentalnej stwierdzono różnice w ich twardości (tab. 2). Chipsy smaźone w świeżych olejach słonecznikowym i rzepakowym charakteryzowały się twardszą konsystencją w porównaniu z chipsami smaźonymi w pozostałych tłuszczach. Podczas smażenia, wraz ze wzrostem stopnia degradacji medium smaźalniczego, konsystencja chipsów ulegała zmianie. Wzrastała twardość chipsów smaźonych w oleju palmowym i tłuszczu modyfikowanym, natomiast zmniejszała się w dwóch pozostałych tłuszczach. Zmiany konsystencji chipsów smaźonych w tłuszczach o różnym stopniu degradacji były skorelowane z ilością pochłoniętego przez produkt tłuszczu. Ponieważ chipsy smaźone w oleju palmowym i tłuszczu modyfikowanym w kolejnych dniach trwania procesu pochłaniały coraz mniejsze ilości tłuszczu, stąd ich twardość wzrastała. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na tę cechę jakościową chipsów mógł być stan skupienia tychże tłuszczów w temperaturze pokojowej. Zarówno olej palmowy, jak i tłuszcz modyfikowany w temperaturze pokojowej ulegały częściowemu zestaleniu. Podobne zależności stwierdzono podczas smażenia frytek ziemniaczanych w różnych rodzajach tłuszczów smaźalniczych [Kita i wsp., 2005]. Frytki smaźone w tłuszczach uwodornionych charakteryzowały się większą twardością w porównaniu z frytkami smaźonymi w oleju rzepakowym. Zróżnicowanie to utrzymywało się przez cały okres smażenia, przy czym zmianom nie ulegała jedynie twardość frytek smaźonych w oleju rzepakowym.

Porównując konsystencję chrupiek otrzymanych przez smażenie gotowych półproduktów – peletów, stwierdzono, że zarówno rodzaj tłuszczu smaźalniczego, jak i stopień jego degradacji w znacznie mniejszym stopniu wpływały na ten wyróżnik jakościowy.

Tabela 5  
Table 5

Ocena sensoryczna chrupiek smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji (R – olej rzepakowy, S – olej słonecznikowy, P – olej palmowy, M – tłuszcz modyfikowany) – punkty 1–5 (VI)

Sensoric quality of crisps fried in oils at different degradation degree (R – rapeseed oil, S – sunflower oil, P – palm oil, M – modified oil) – scores 1–5 (VI)

Czas smażenia [godz.] Frying time [h]	Barwa [punkty 1–5] Colour [points 1–5]			Smak [punkty 1–5] Taste [points 1–5]			Zapach [punkty 1–5] Flavour [points 1–5]			Konsystencja [punkty 1–5] Texture [points 1–5]			Wygląd /struktura [punkty 1–5] Appearance [points 1–5]			Ogólna ocena [punkty 1–5] Total estimation [points 1–5]							
	R	S	P	R	S	M	P	R	S	M	P	R	S	M	P	R	S	M	P				
1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8	4,8	4,8	4,8
8	5,0	4,0	5,0	4,4	4,0	5,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,0	4,5	4,4	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,6	4,1	4,8	4,5
16	4,8	3,5	5,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,4	4,0	5,0	4,0	4,4	4,2	4,8	4,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,3	4,0	4,7	4,3
24	4,8	3,5	5,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,4	4,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,6	4,5	4,0	3,0	4,0	4,0	4,2	3,5	4,5	4,1
32	4,5	3,5	4,5	4,0	3,0	4,0	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	4,0	4,5	4,4	4,0	3,0	4,0	3,0	4,1	3,5	4,2	3,8
40	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,8	3,9	3,6	3,0	3,5	3,5	3,8	3,9	4,5	4,3	4,0	3,0	4,0	3,0	3,9	3,2	3,9	3,6

Tabela 5  
Table 5

Ocena sensoryczna chrupiek smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji (R – olej rzepakowy, S – olej słonecznikowy, P – olej palmowy, M – tłuszcz modyfikowany) – punkty 1–5 (VI)

Sensory quality of crisps fried in oils at different degradation degree (R – rapeseed oil, S – sunflower oil, P – palm oil, M – modified oil) – scores 1–5 (VI)

Czas smażenia [godz.] Frying time [h]	Barwa [punkty 1–5] Colour [points 1–5]			Smak [punkty 1–5] Taste [points 1–5]			Zapach [punkty 1–5] Flavour [points 1–5]			Konsystencja [punkty 1–5] Texture [points 1–5]			Wygląd /struktura [punkty 1–5] Appearance [points 1–5]			Ogólna ocena [punkty 1–5] Total estimation [points 1–5]		
	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P	R	S	P
1	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,8	4,8	4,8
8	5,0	4,0	5,0	4,4	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	4,5	4,4	5,0	4,0	4,0	4,0	4,6	4,1	4,8
16	4,8	3,5	5,0	4,0	4,0	4,5	4,4	4,0	5,0	4,4	4,2	4,8	4,0	4,0	4,0	4,3	4,0	4,7
24	4,8	3,5	5,0	4,0	3,0	4,0	4,4	4,0	5,0	4,0	4,0	4,6	4,0	3,0	4,0	4,2	3,5	4,5
32	4,5	3,5	4,5	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	4,0	4,5	4,0	3,0	4,0	4,1	3,5	4,2
40	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,8	3,6	3,0	3,5	3,8	3,9	4,5	4,0	3,0	4,0	3,9	3,2	3,9

Chrupki smażone w świeżych tłuszczach charakteryzowały się podobną twardością, niezależnie od rodzaju medium smaźalniczego (tab. 3). W kolejnych dniach ogrzewania i cyklicznego smażenia, zmiany konsystencji związane ze zwiększaniem twardości produktu, stwierdzono jedynie w chrupkach smażonych w oleju palmowym i tłuszczu modyfikowanym. Jednakową twardością, niezależnie od stopnia degradacji tłuszczu użytego do smażenia chrupki, charakteryzowały się natomiast chrupki smażone w olejach słonecznikowym oraz rzepakowym. Na twardość, a zarazem konsystencję chrupki w mniejszym stopniu oddziaływał tłuszcz smaźalniczy, którego zawartość w gotowym produkcie wynosiła średnio 20% (tab. 3), w porównaniu z czipsami ziemniaczanymi, w których zaadsorbowany tłuszcz stanowił około 40% gotowego produktu (tab. 2).

W tabeli 6 przedstawiono korelacje pomiędzy konsystencją czipsów i chrupki oznaczaną instrumentalnie, a parametrami tłuszczów smaźalniczych. Stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy konsystencją czipsów, a zawartością kwasu oleinowego w medium smaźalniczym. Wpływ na kształtowanie konsystencji czipsów odgrywał zatem w większym stopniu rodzaj medium smaźalniczego, niż stopień jego degradacji. Znaleziono także korelacje pomiędzy konsystencją chrupki a rodzajem tłuszczu i czasem trwania procesu. Stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy konsystencją chrupki, a zawartością kwasów nasyconych w medium smaźalniczym, liczbą kwasową tłuszczu oraz liczbą anizydynową.

Tabela 6

Table 6

Korelacje pomiędzy konsystencją [N] czipsów ziemniaczanych i chrupki, a wielkościami charakteryzującymi jakość tłuszczów smaźalniczych (VI)

Correlation coefficients between texture [N] of potato chips and crisps and characteristic parameters of frying oils (VI)

Wielkości charakteryzujące jakość tłuszczów smaźalniczych Quality parameters of frying oils	Konsystencja [N] Texture [N]	
	czipsy potato chips	chrupki crisps
Zawartość – Content:		
kwasu palmitynowego – palmitic acid	0,33	0,54*
kwasu stearynowego – stearic acid	-0,14	0,40
kwasu oleinowego – oleic acid	0,41*	0,06
kwasu linolowego – linoleic acid	-0,35	0,21
kwasu linolenowego – linolenic acid	0,12	0,17
izomerów trans KT – trans isomers	0,14	0,24
Liczba kwasowa (LK) – Acid value (AV)	-0,25	0,54*
Liczba anizydynowa (LAn) – Anisidine value (AnV)	-0,23	-0,50*
Liczba jodowa (LJ) – Iodine value (IV)	-0,28	0,10
Zawartość frakcji polarnej – Polar fraction content	-0,12	0,15

\* zależność istotna

\* significant correlation

### 2.3. Wpływ rodzaju i stopnia degradacji oleju na jakość czipsów ziemniaczanych i chrupek podczas przechowywania (I, II, VII)

Produkty przekąskowe, tj. czipsy ziemniaczane oraz różnego rodzaju chrupki zaraz po wyprodukowaniu i zapakowaniu, zanim trafią do konsumenta, są przechowywane. Stąd też ich jakość w dużej mierze uzależniona jest od tempa przemian zachodzących w gotowym produkcie podczas kilku lub kilkunastu tygodni przechowywania. Przemiany te wpływają na zmiany właściwości produktów związane ze zwiększaniem ich wilgotności oraz ze zmianami zachodzącymi we frakcji tłuszczowej. To właśnie produkty rozkładu tłuszczów o znacznie niższym progu wyczuwalności smakowej wpływają na pogorszenie smaku i zapachu przechowywanych produktów przekąskowych, co bezpośrednio prowadzi do utraty atrakcyjności. Od jakości użytego tłuszczu smaźalniczego uzależniona jest zatem stabilność produktów podczas przechowywania. Tłuszcz spełnia również teksturotwórczą rolę w kształtowaniu jakości produktów przekąskowych. Stąd też w przeprowadzonych badaniach przechowalniczych analizowano zmiany wszystkich wyróżników jakościowych przechowywanych produktów, ze szczególnym uwzględnieniem konsystencji, w powiązaniu z przemianami zachodzącymi w ich frakcji tłuszczowej.

Jak wykazano wcześniej, rodzaj tłuszczu smaźalniczego oraz stopień jego degradacji wpływały na kształtowanie zarówno barwy, jak i smaku, zapachu oraz konsystencji otrzymywanych czipsów ziemniaczanych i chrupek. Aby porównać wpływ stopnia degradacji medium smaźalniczego na jakość przechowywanych produktów przekąskowych materiałem użytym do badań były czipsy i chrupki smażone w świeżych i zdegradowanych (poddawanych obróbce termicznej przez 40 godzin) tłuszczach smaźalniczych. Produkty przechowywano w warunkach standardowych przez pięć miesięcy (VII).

Na tempo przemian zachodzących we frakcji tłuszczowej przechowywanych produktów wpływał zarówno rodzaj, jak i jakość tłuszczu smaźalniczego. Zmiany zapoczątkowane w tłuszczach podczas procesu smażenia produktów, są następnie kontynuowane w czasie przechowywania zarówno tłuszczów smaźalniczych, jak i gotowych produktów zawierających w swym składzie tłuszcz [Lisińska i wsp., 1996; Pałasiński i Międzybrodzka, 1990].

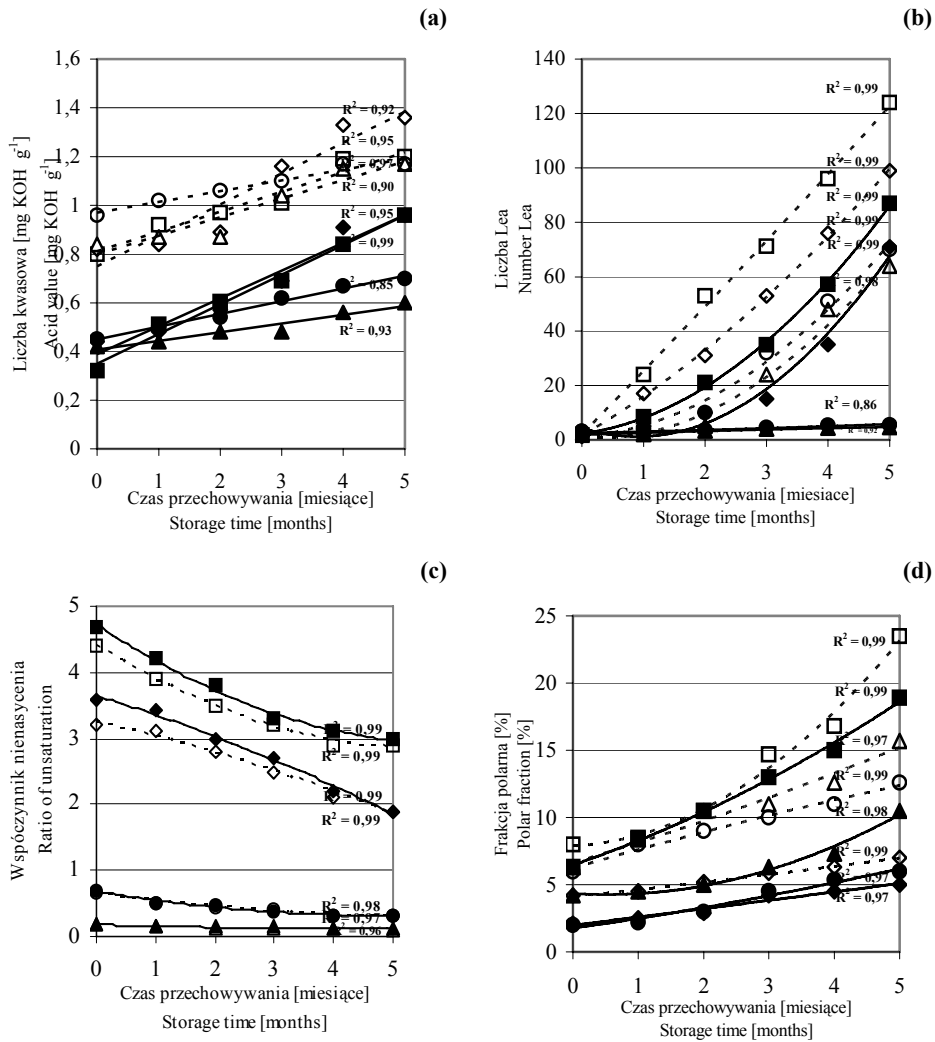
Zmiany frakcji tłuszczowej przechowywanych czipsów oraz chrupek zobrazowano jako zmiany liczby kwasowej i nadtlenkowej (liczba Lea) oraz składu kwasów tłuszczowych (współczynnik nienasyceń) i zawartości frakcji polarnej (rys. 5 i 6). Zmiany wywołane hydrolizą tłuszczu przedstawiono jako zmiany liczby kwasowej. Zarówno czipsy, jak i chrupki przed przechowywaniem charakteryzowały się niską liczbą kwasową tłuszczu. Niezależnie od rodzaju i stopnia degradacji medium smaźalniczego, w kolejnych miesiącach przechowywania obserwowano stopniowy wzrost liczby kwasowej tłuszczu. Jedynie w czipsach smażonych w tłuszczach zdegradowanych została przekroczona wyznaczona w normie wartość  $LK < 1 \text{ mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$  [PN-A-74780]. Pomimo że znacznie intensywniej przemiany hydrolityczne zachodziły we frakcji tłuszczowej chrupek smażonych w zdegradowanych tłuszczach w porównaniu z tłuszczami świeżymi, dopuszczalny limit nie został przekroczony ( $LK < 2 \text{ mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ ). Wiąże się to z wyższą

początkową zawartością wolnych kwasów tłuszczowych, będącą efektem przemian zachodzących w tłuszczu podczas kilkudziesięciogodzinnej obróbki termicznej.

Rodzaj oraz stopień zużycia medium smaźalniczego istotnie wpływały na tempo przemian oksydacyjnych tłuszczu w przechowywanych czipsach i chrupkach. Zawartość nadtlenków wzrastała we wszystkich przechowywanych produktach, przy czym największe wartości osiągnęła w tłuszczu zawartym w czipsach oraz chrupkach smażonych w zdegradowanych olejach: słonecznikowym oraz rzepakowym. W tych produktach zawartość nadtlenków przekroczyła wielokrotnie wyznaczony limit – liczba Lea  $< 3$  [PN-A-74780]. Stabilność oksydacyjna tłuszczu jest bezpośrednio powiązana ze stopniem nienasylenia tłuszczów. Wyższy stopień nienasylenia świadczy o większej podatności na utlenianie. Tłuszcze zdegradowane charakteryzowały się jednak niższym współczynnikiem nienasylenia w stosunku do tłuszczów świeżych wskutek rozkładu części wielonienasyconych kwasów tłuszczowych podczas obróbki termicznej. Przemiany oksydacyjne zapoczątkowane zostały podczas procesu smażenia i stąd w tłuszczu produktów smażonych w zdegradowanych olejach, tempo tworzenia nadtlenków było znacznie większe w porównaniu z frakcją tłuszczową produktów smażonych w tłuszczach świeżych. Stwierdzono również różnice w zawartości nadtlenków pomiędzy frakcją tłuszczową czipsów i chrupki smażonych w zdegradowanych olejach smaźalniczych. Okazuje się, że tempo utleniania tłuszczów było wyższe w chrupkach. Świadczy to o bardziej zaawansowanych procesach oksydacyjnych w tłuszczach używanych do smażenia chrupki niż czipsów. Potwierdzają to wartości liczby anizydynowej analizowanych tłuszczów podczas procesu smażenia (rys. 3 i 4). Jak wykazali inni autorzy tłuszcz poddawany dłuższemu ogrzewaniu bez smażenia w nim produktów, jest bardziej narażony na niekorzystne przemiany [Tynek i wsp., 2001]. Czas smażenia chrupki był znacznie krótszy niż czipsów ziemniaczanych i stąd w tłuszczach używanych do smażenia chrupki mogło dojść do bardziej zaawansowanych przemian.

Kilkumiesięczne przechowywanie wpłynęło również na podwyższenie zawartości związków polarnych w tłuszczu zawartym w czipsach oraz chrupkach. Niezależnie od rodzaju medium smaźalniczego oraz stopnia jego zużycia wzrost zawartości związków polarnych obserwowano we wszystkich analizowanych próbach. Spośród tłuszczów świeżych użytych do smażenia największym tempem zwiększania frakcji polarnej charakteryzował się tłuszcz w produktach przekąskowych smażonych w oleju słonecznikowym, a w grupie tłuszczów zużytych – w oleju słonecznikowym i rzepakowym. Najlepszą stabilnością charakteryzował się tłuszcz modyfikowany. Jedynie w tłuszczu z przechowywanych chrupki zawartość związków polarnych przekroczyła wyznaczony limit dla tłuszczów smaźalniczych – 25%.

Również inni autorzy obserwowali zwiększanie zawartości związków polarnych we frakcji tłuszczowej przechowywanych czipsów ziemniaczanych [Marquez-Ruiz i wsp., 1999; Pethukov i wsp., 1999b].



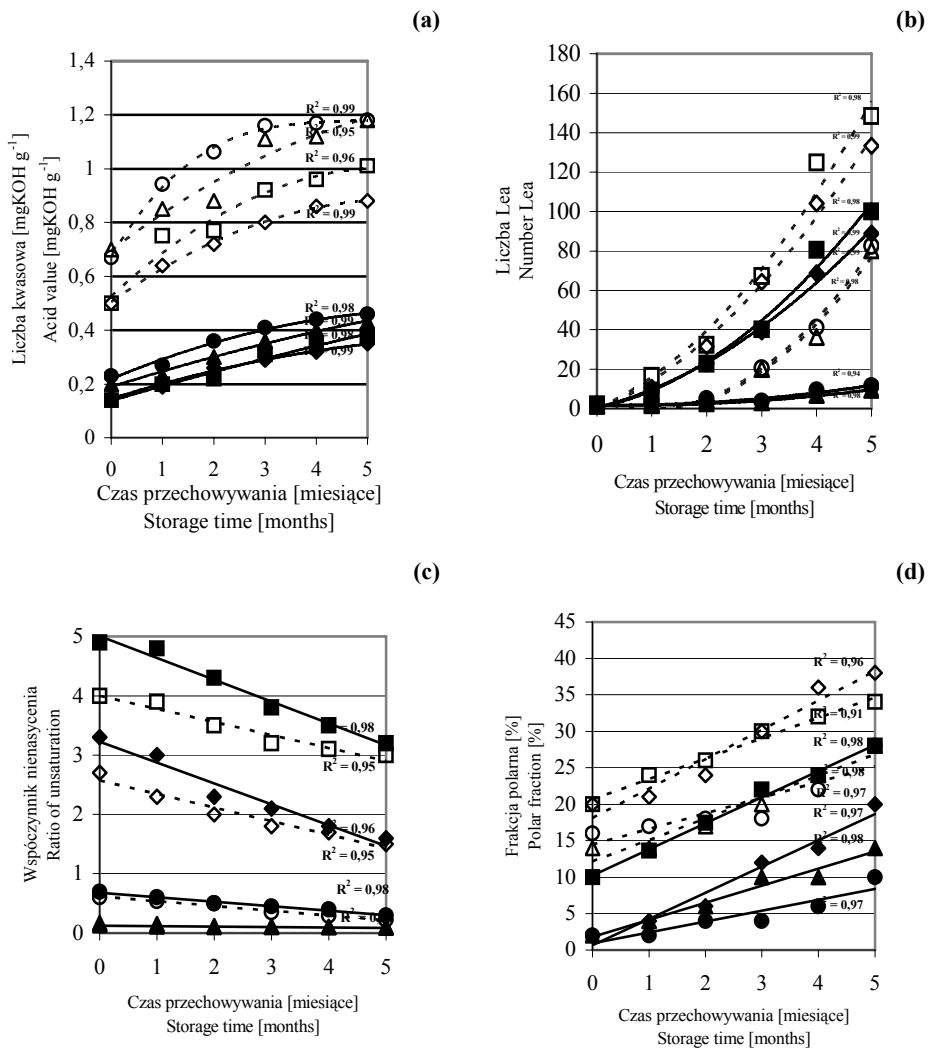
- ◆/◇ olej rzepakowy świeży/zdegradowany – rapeseed oil fresh/used
- /□ olej słonecznikowy świeży/zdegradowany – sunflower oil fresh/used
- ▲/△ olej palmowy świeży/zdegradowany – palm oil fresh/used
- /○ tłuszcz modyfikowany świeży/zdegradowany – modified oil fresh/used

Rys. 5. Zmiany (a) liczby kwasowej, (b) liczby Lea, (c) współczynnika nienasyceń\*, (d) zawartości frakcji polarnej w tłuszczach wyekstrahowanych z czipsów smażonych w tłuszczach o różnym stopniu degradacji podczas przechowywania przez pięć miesięcy (VII)

\* iloraz sumy kwasów nienasyconych (C 18:2 i C 18:3) i sumy kwasów nasyconych (C 16:0 i C 18:0)  
 Fig. 5. The changes of (a) acid value, (b) number Lea, (c) ratio of unsaturation)\*, (d) polar fraction content of the fat extracted from potato chips fried in oils of different degrees of degradation during storage for five months (VII)

\* quotient of unsaturated fatty acids (C 18:2 and C 18:3) and saturated fatty acids (C 16:0 and C 18:0)





- ◆/◇ olej rzepakowy świeży/zdegradowany – rapeseed oil fresh/used
- /□ olej słonecznikowy świeży/zdegradowany – sunflower oil fresh/used
- ▲/△ olej palmowy świeży/zdegradowany – palm oil fresh/used
- /○ tłuszcz modyfikowany świeży/zdegradowany – modified oil fresh/used

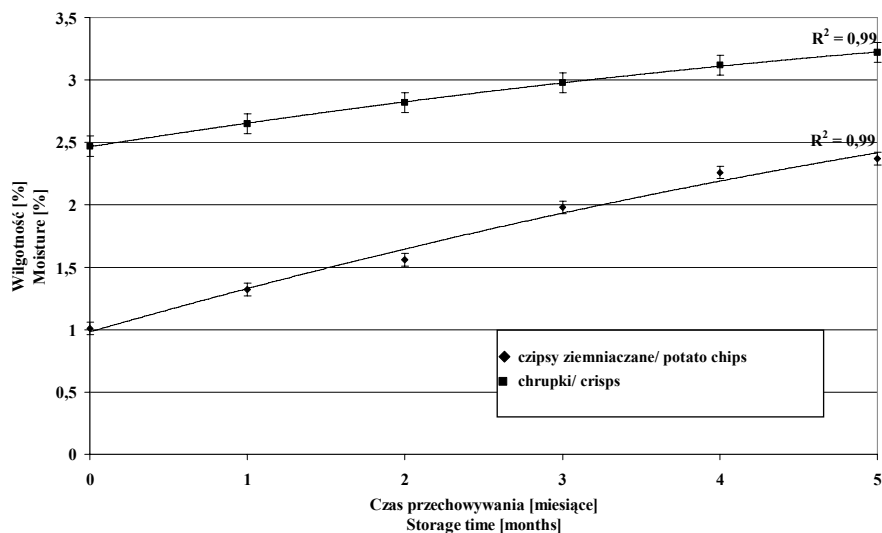
Rys. 6. Zmiany (a) liczby kwasowej, (b) liczby Lea, (c) współczynnika nienasyceń\*, (d) zawartości frakcji polarnej w tłuszczach wyekstrahowanych z chrupek smażonych w tłuszczach o różnym stopniu degradacji podczas przechowywania przez pięć miesięcy (VII)

\* iloraz sumy kwasów nienasyconych (C 18:2 i C 18:3) i sumy kwasów nasyconych (C 16:0 i C 18:0)

Fig. 6. The changes of (a) acid value, (b) number Lea, (c) ratio of unsaturation\*, (d) polar fraction content of the fat extracted from crisps fried in oils of different degrees of degradation during storage for five months (VII)

\* quotient of unsaturated fatty acids (C 18:2 and C 18:3) and saturated fatty acids (C 16:0 and C 18:0)

Niezależnie od przemian zachodzących we frakcji tłuszczowej, w przechowywanych produktach zmieniała się również wilgotność. Czipсы oraz chrupki charakteryzowały się niską początkową zawartością wody (< 2,5%) i pomimo stosowania opakowań charakteryzujących się dobrą barierowością wobec pary wodnej, podczas przechowywania dochodziło do pewnej wymiany pomiędzy produktem, a otoczeniem. Efektem tej wymiany było stopniowe zwiększanie wilgotności przechowywanych produktów. W analizowanym materiale niezależnie od jakości użytego tłuszczu smaźalniczego obserwowano stopniowy wzrost wilgotności w kolejnych miesiącach przechowywania (rys. 7). Zmiany te były jednakże niewielkie, a wilgotność obu rodzajów produktów nie przekroczyła wyznaczonego normami dopuszczalnego limitu [PN-A-74780].



Rys. 7. Zmiany wilgotności czipсов ziemniaczanych i chrupkek smaźonych w tłuszczach roślinnych o różnym stopniu degradacji (wyniki średnie) podczas przechowywania przez pięć miesięcy (VII)

Fig. 7. The changes of moisture of potato chips and crisps fried in oils of different degrees of degradation (average values) during storage for five months (VII)

Nawet niewielkie zawilgocenie produktu podczas przechowywania może jednakże wpływać na pogorszenie konsystencji i tworzenie się nieprzyjemnego zapachu. Produkty tracą swą charakterystyczną chrupkość, a zawarty w nich tłuszcz ulega degradacji [Lisińska i wsp., 1994].

Podczas pięciu miesięcy przechowywania obserwowano stopniowe pogarszanie właściwości sensorycznych wszystkich analizowanych produktów przekąskowych (tab. 7 i 8). Ponieważ tempo i kierunek zmian zachodzących w produktach podczas przechowywania w dużej mierze uzależnione są od jakości produktu wyjściowego, stąd w przechowywanych produktach różniących się właściwościami zawartego w nich tłuszczu,



Ocena sensoryczna chrupiek smażonych w olejach (R – olej rzepakowy, S – olej słonecznikowy P – olej palmowy, M – tłuszcz modyfikowanym) o różnym stopniu degradacji (świeżych oraz po 40 godzinach smażenia i ogrzewania) podczas przechowywania przez pięć miesięcy – punkty 1–5 (VII)

Sensory quality of crisps fried in oils (R – rapeseed oil, S – sunflower oil, P – palm oil, M – modified oil) of different degrees of degradation (fresh and after 40 h of frying and heating) during storage for five months – scores 1–5 (VII)

Czas przechowywania [miesiące] Storage time [months]	Barwa [punkty 1–5] Colour [points 1–5]			Smak [punkty 1–5] Taste [points 1–5]			Zapach [punkty 1–5] Flavour [points 1–5]			Konsystencja [punkty 1–5] Texture [points 1–5]			Wygląd /struktura [punkty 1–5] Appearance [points 1–5]			Ogólna ocena [punkty 1–5] Total estimation [points 1–5]				
	R	S	M	P	R	S	M	P	R	S	M	P	R	S	M	P	R	S	M	P
Olej świeży – Fresh oil																				
0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,8	4,8	4,8	4,8
1	5,0	4,5	5,0	4,5	4,4	4,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,5	4,0	4,4	4,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5
2	4,8	4,5	5,0	4,5	4,2	3,5	4,5	4,5	4,4	4,0	5,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,5	4,4	4,0	4,0	4,4
3	4,8	4,5	5,0	4,5	4,0	3,0	4,0	4,2	4,4	4,0	5,0	4,0	4,3	4,0	4,0	4,4	4,0	3,5	4,0	4,0
4	4,5	4,0	4,5	4,5	4,0	2,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,5	4,0	3,8	4,1	3,6	4,1	4,0
5	4,0	4,0	4,5	4,2	3,7	2,5	3,8	3,9	3,6	3,0	3,5	3,5	4,0	3,5	3,9	3,7	3,9	3,3	3,9	3,8
Olej zużyty – Used oil																				
0	4,0	3,0	4,0	3,5	4,0	3,0	3,8	3,9	3,6	3,0	3,5	3,5	3,8	3,9	4,5	4,3	4,0	3,0	4,0	3,0
1	3,8	2,8	4,0	3,4	3,3	2,4	3,3	3,4	3,2	2,0	3,1	3,0	3,5	3,6	4,0	4,3	4,0	3,0	4,0	3,0
2	3,5	2,7	3,9	3,3	3,0	2,0	3,1	3,2	3,0	1,5	3,0	3,0	3,5	3,6	4,0	3,9	4,0	3,0	4,0	3,0
3	3,0	2,5	3,8	3,3	2,6	1,5	3,0	3,0	2,6	1,0	2,8	2,8	3,0	3,1	3,6	3,8	4,0	3,0	4,0	3,0
4	2,9	2,3	3,7	3,1	2,4	1,1	2,9	2,8	2,3	1,0	2,7	2,6	2,9	2,9	3,3	3,5	3,9	3,0	4,0	3,0
5	2,8	2,1	3,6	3,0	2,0	1,0	2,8	2,7	1,9	1,0	2,6	2,5	2,7	2,6	3,0	3,1	3,9	3,0	4,0	2,8

stwierdzono różnice w ocenie sensorycznej. Zmiany zachodzące w tłuszczu dotyczyły głównie przemian oksydacyjnych, które z kolei wpływały na smak i zapach przechowywanych produktów. Stąd też te wyróżniki jakościowe zmieniały się najbardziej, przy czym znacznie gorszym aromatem charakteryzowały się zarówno chipsy, jak i chrupki smażone w zdegradowanych olejach słonecznikowym i rzepakowym, w porównaniu z pozostałymi tłuszczami. Produkty te uzyskały negatywną ocenę po zakończonym okresie przechowywania. Znacznie lepszym smakiem i zapachem podczas przechowywania charakteryzowały się produkty smażone w świeżych tłuszczach. Pomimo tego, zarówno chipsy, jak i chrupki smażone w oleju słonecznikowym uzyskały oceny poniżej 3 punktów po zakończeniu przechowywania.

Zmiany smaku i zapachu przechowywanych produktów związane są bezpośrednio z ilością oraz rodzajem substancji lotnych powstających podczas smażenia, a następnie przechowywania. Pethukov i wsp. (1999a) porównując właściwości chipsów ziemniaczanych smażonych w różnych olejach rzepakowych, zidentyfikowali 25 substancji lotnych (węglowodorów, nasyconych i nienasyconych karbonyli, dienów oraz pyrazyn). Stwierdzili, że zmiany aromatu przechowywanych chipsów były skorelowane ze zwiększającą się w kolejnych dniach przechowywania zawartością związków lotnych – szczególnie nasyconych i nienasyconych karbonyli odpowiedzialnych za zjełczały smak. Największe ilości tych substancji stwierdzili w chipsach smażonych w rafinowanym oleju rzepakowym.

Rodzaj i jakość użytego tłuszczu smażalniczego kształtował również barwę przechowywanych produktów. Gorszą barwą charakteryzowały się produkty smażone w zdegradowanych olejach, przy czym niewielkie zmiany barwy zachodziły w podobnym tempie we wszystkich analizowanych produktach, niezależnie od stopnia degradacji użytego tłuszczu.

Podczas pięciu miesięcy przechowywania obserwowano zmiany konsystencji wszystkich analizowanych rodzajów chipsów i chrupiek (tab. 7–10). Zarówno chipsy ziemniaczane, jak i chrupki różniły się zawartością tłuszczu i konsystencją w zależności od jakości użytego medium smażalniczego. W kolejnych miesiącach przechowywania obserwowano pogorszenie się konsystencji wszystkich analizowanych produktów. Chipsy ziemniaczane oraz chrupki stawały się coraz twardsze i traciły swą charakterystyczną chrupkość. Jak wykazano we wcześniejszych badaniach, zwiększanie twardości chipsów podczas przechowywania jest bezpośrednio związane ze zwiększaniem ich wilgotności [Kita, 2002]. Jednakże pomimo podobnego tempa absorpcji wody, stwierdzono istotne różnice w konsystencji poszczególnych rodzajów badanych przekąsek. Świadczy to o wpływie również innych czynników, prócz zawilgocenia produktu, na kształtowanie ich konsystencji.

Większe zmiany w twardości przechowywanych produktów stwierdzono w chipsach ziemniaczanych (zwiększenie twardości o około 10N) (tab. 9) w porównaniu z chrupkami (~5N) (tab. 10). Również w przypadku chipsów obserwowano różnice w konsystencji w zależności, czy produkty były smażone w świeżych czy w zdegradowanych tłuszczach smażalniczych. Chipsy smażone w świeżych olejach, podczas całego okresu przechowywania, charakteryzowały się twardszą konsystencją w porównaniu z chipsami smażonymi w olejach zdegradowanych, oprócz oleju rzepakowego (tab. 7). Może mieć to związek z ilością zaadsorbowanego tłuszczu podczas smażenia – chipsy smażone w olejach poddawanych kilkudziesięciogodzinnej obróbce termicznej chłoneły więcej tłuszczu, a także z

tempem przemian frakcji tłuszczowej czipsów podczas przechowywania – większe zmiany obserwowano w tłuszczu wyekstrahowanym z czipsów smażonych w zdegradowanych tłuszczach. Znacznie bardziej wyrównaną konsystencją w porównaniu z czipsami charakteryzowały się chrupki. Twardość chrupiek smażonych w świeżych tłuszczach kształtowała się na podobnym poziomie zarówno zaraz po wyprodukowaniu, jak i podczas całego okresu przechowywania, niezależnie od rodzaju oleju (tab. 10). Różnice stwierdzono natomiast pomiędzy konsystencją chrupiek smażonych w zdegradowanych tłuszczach. Chrupki smażone w olejach płynnych były mniej twarde w porównaniu z chrupkami smażonymi w oleju palmowym i modyfikowanym, i zależność ta utrzymywała się podczas przechowywania.

Tabela 9

Table 9

Zawartość tłuszczu i konsystencja czipsów smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji podczas przechowywania przez 5 miesięcy (VII)

The fat uptake and texture of potato chips fried in oils of different degrees of degradation during storage for five months (VII)

	Czas przechowywania [miesiące] Storage time [months]	Rodzaj tłuszczu smaźalniczego Kind of frying oil			
		olej rzepakowy rapeseed oil	olej słonecznikowy sunflower oil	olej palmowy palm oil	tłuszcz modyfikowany modified oil
1 cykl smażenia – 1 frying cycle					
Zawartość tłuszczu [%] Fat content [%]	0	35,6	40,5	39,7	39,8
Konsystencja [N] Texture [N]	0	19,2 aA	20,8 aA	19,0 aA	22,5 aA
	1	28,2 aB	28,7 abB	21,2 aA	23,0 aA
	2	30,2 abB	29,3 abB	23,6 abA	26,4 abAB
	3	31,0 abB	31,9 bB	23,8 abA	28,1 abB
	4	33,2 abB	31,9 bB	25,7 abA	32,6 bB
	5	36,9 bB	33,2 bAB	30,7 bA	33,4 bAB
40 cykl smażenia – 40 frying cycle					
Zawartość tłuszczu [%] Fat content [%]	0	42,7	42,8	42,5	42,4
Konsystencja [N] Texture [N]	0	22,4 aB	17,0 aA	15,1 aA	20,9 aB
	1	24,5 abB	24,1 aB	18,5 abA	20,9 aA
	2	25,2 abB	26,4 aB	20,1 abcA	22,1 aA
	3	30,6 abB	27,3 aB	21,7 abcA	22,3 aA
	4	31,2 abB	28,0 aAB	24,4 bcA	29,3 abAB
	5	33,5 bB	28,9 aAB	25,8 cA	30,8 bB

małe litery – istotne różnice w kolumnach  $\alpha \leq 0,05$ ; duże litery – istotne różnice pomiędzy kolumnami,  $\alpha \leq 0,05$   
lower-case letters – significant differences in columns,  $\alpha \leq 0,05$ ; capital letters – significant differences within columns,  $\alpha \leq 0,05$

W ocenie sensorycznej najlepszą konsystencją spośród produktów smażonych w świeżych tłuszczach, po zakończeniu przechowywania, charakteryzowały się chipsy smażone w oleju palmowym (tab. 7) oraz chrupki smażone w oleju palmowym i rzepakowym (tab. 8). Natomiast konsystencja chipsów smażonych w tłuszczach zdegradowanych została oceniona bardzo podobnie, niezależnie od rodzaju medium smażalniczego. Oceniając konsystencję chrupiek wyżej oceniono chrupki smażone w oleju palmowym i tłuszczu modyfikowanym w porównaniu z pozostałymi tłuszczami.

Tabela 10

Table 10

Zawartość tłuszczu i konsystencja chrupiek smażonych w olejach o różnym stopniu degradacji podczas przechowywania przez 5 miesięcy (VII)  
The fat uptake and texture of crisps fried in oils of different degrees of degradation during storage for five months (VII)

	Czas przechowywania [miesiące] Storage time [months]	Rodzaj tłuszczu smażalniczego Kind of frying oil			
		olej rzepakowy rapeseed oil	olej słonecznikowy sunflower oil	olej palmowy palm oil	tłuszcz modyfikowany modified oil
1 cykl smażenia – 1 frying cycle					
Zawartość tłuszczu [%] Fat content [%]	0	24,5	25,5	22,1	22,9
Konsystencja [N] Texture [N]	0	14,3 aA	14,8 aA	14,9 aA	14,4 aA
	1	14,6 aA	16,1 abA	15,8 abA	14,5 aA
	2	15,1 aA	16,8 abA	16,2 abcA	15,7 abA
	3	16,5 aA	16,9 abA	17,2 abcA	15,9 abA
	4	19,9 bAB	17,4 abA	17,7 bcA	17,1 abA
	5	19,9 bAB	18,4 aA	18,6 cA	17,5 bA
40 cykl smażenia – 40 frying cycle					
Zawartość tłuszczu [%] Fat content [%]	0	24,2	22,7	19,1	21,5
Konsystencja [N] Texture [N]	0	13,0 aA	15,1 aAB	18,3 aBC	16,2 aB
	1	14,7 abA	15,1 aA	19,2 aB	16,6 aA
	2	14,9 abA	16,0 abA	19,7 aB	16,8 abAB
	3	15,2 abA	16,5 abA	20,8 aB	17,4 abAB
	4	17,2 bcA	17,6 abA	20,6 aB	18,0 abA
	5	18,4 cA	18,4 bA	23,5 bB	19,0 bA

małe litery – istotne różnice w kolumnach  $\alpha \leq 0,05$ ; duże litery – istotne różnice pomiędzy kolumnami,  $\alpha \leq 0,05$   
lower-case letters – significant differences in columns,  $\alpha \leq 0,05$ ; capital letters – significant differences within columns,  $\alpha \leq 0,05$

W tabeli 11 zestawiono korelacje pomiędzy konsystencją smażonych produktów przekąskowych (czipsów ziemniaczanych i chrupek), a parametrami charakteryzującymi jakość produktów i tłuszczu użytego do smażenia. Stwierdzono istotną dodatnią korelację pomiędzy konsystencją czipsów, a długością okresu przechowywania, wilgotnością, rodzajem medium smażalniczego (zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych) oraz zawartością nadtlenków. Poszukując zależności pomiędzy konsystencją chrupek, a wielkościami charakteryzującymi ich właściwości oraz jakość tłuszczu smażalniczego, stwierdzono, że na konsystencję chrupek istotnie wpływała długość okresu przechowywania, ich wilgotność, a także liczba kwasowa, liczba nadtlenkowa oraz zawartość związków polarnych we frakcji tłuszczowej chrupek.

Tabela 11

Table 11

Korelacje pomiędzy konsystencją (N) przechowywanych czipsów ziemniaczanych oraz chrupek, a wielkościami charakteryzującymi właściwości produktów przekąskowych i jakość tłuszczów smażalniczych (VII)

Correlation coefficients between texture (N) of potato chips and crisps and characteristic parameters of stored products and frying oils (VII)

Parametry jakościowe Quality parameters	Konsystencja [N] Texture [N]	
	czipsy potato chips	chrupki crisps
	Czas przechowywania – Storage time	0,72*
Rodzaj tłuszczu – Kind of frying oil	-0,45*	-0,06
Wilgotność – Moisture	0,81*	0,78*
Zawartość – Content :		
kwasów nasyconych – saturated fatty acids	0,40*	0,16
kwasu oleinowego – oleic acid	0,07	-0,21
kwasu linolowego – linoleic acid	0,19	0,05
kwasu linolenowego – linolenic acid	0,32	-0,08
izomerów trans KT/ trans isomers	0,15	-0,09
Liczba kwasowa – Acid value	0,26	0,63*
Liczba Lea – Number Lea	0,40*	0,69*
Zawartość frakcji polarnej – Polar fraction content	0,05	0,67*

\* zależność istotna

\* significant correlation

Przeprowadzone doświadczenia modelowe na materiale uzyskanym w warunkach laboratoryjnych zweryfikowano podczas badań przechowalniczych różnych asortymentów czipsów ziemniaczanych i chrupek pobranych bezpośrednio z linii technologicznych zakładów produkcyjnych. Ze względu na kluczową rolę frakcji tłuszczowej w kształtowaniu właściwości smażonych produktów przekąskowych podczas przechowywania, zmiany zachodzące w tej frakcji były przedmiotem jednego z opracowań (I).



Porównując właściwości frakcji tłuszczowej czipsów i chrupek wyprodukowanych z użyciem różnych rodzajów tłuszczów roślinnych (oleju sojowego, arachidowego oraz palmowego) stwierdzono, że rodzaj tłuszczu w istotny sposób wpływał na właściwości świeżych jak i przechowywanych produktów przekąskowych. Skład kwasów tłuszczowych odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu smaku i zapachu produktów zaraz po wyprodukowaniu jak i podczas przechowywania. Szczególnie istotna jest zawartość kwasów nienasyconych: oleinowego i linolowego [Pałasiński i Międzybrodzka, 1990; Warner i wsp., 1997; Pethukov i wsp., 1999a]. W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że bardziej pożądanym zapachem i wyższą stabilnością podczas przechowywania charakteryzowały się produkty zawierające tłuszcz o wyższej zawartości kwasu oleinowego (do 63%) i jednocześnie niższej zawartości kwasu linolowego (do 37%).

Podczas przechowywania zmieniał się skład ilościowy i jakościowy kwasów tłuszczowych przede wszystkim w tłuszczach zawierających wielonienasycone kwasy tłuszczowe. We frakcji tłuszczowej czipsów i chrupek smażonych w oleju sojowym stwierdzono obniżenie zawartości kwasu linolowego i linolenowego w kolejnych miesiącach przechowywania. Wysoką stabilnością charakteryzowała się natomiast frakcja tłuszczowa czipsów smażonych w oleju palmowym.

Przemiany hydrolityczne i oksydacyjne obserwowano we wszystkich analizowanych asortymentach przechowywanych produktów przekąskowych. W czipsach i chrupkach smażonych w oleju sojowym w kolejnych tygodniach przechowywania wzrastała zawartość wolnych kwasów tłuszczowych jak i nadtlenków. Znacznie większą stabilnością charakteryzował się tłuszcz zawarty w czipsach smażonych w oleju palmowym, w której stwierdzono tylko niewielkie przemiany hydrolityczne, natomiast zawartość nadtlenków kształtowała się na stałym poziomie przez cały okres przechowywania.

Różnice stwierdzono również w ilości i składzie frakcji polarnej analizowanych tłuszczów zawartych w przechowywanych produktach przekąskowych. Zawartość frakcji polarnej w tłuszczu wyekstrahowanym ze świeżych czipsów i chrupek kształtowała się na podobnym poziomie niezależnie od rodzaju medium smaźalniczego. Podczas przechowywania obserwowano stopniowy wzrost zawartości związków polarnych we wszystkich rodzajach produktów, przy czym najwyższą ich zawartością charakteryzował się tłuszcz z czipsów i chrupek smażonych w oleju sojowym. W składzie frakcji polarnej zarówno świeżych, jak i przechowywanych produktów przekąskowych dominowały utlenione triacyloglicerole, a zawartość poszczególnych składników zależała od rodzaju tłuszczu smaźalniczego.

Przemiany zachodzące w tłuszczu przechowywanych produktów przekąskowych bezpośrednio wpływały na właściwości sensoryczne – przede wszystkim smak i zapach. Pomimo że wszystkie produkty przekąskowe zaraz po wyprodukowaniu charakteryzowały się prawidłowymi cechami sensorycznymi podczas przechowywania stwierdzono stopniowe pogarszanie się ich jakości. Niezależnie od rodzaju użytego medium smaźalniczego smak i zapach smażonych przekąsek po zakończeniu przechowywania oceniono podobnie. Nieco gorszą konsystencją charakteryzowały się czipsy smażone w oleju palmowym. Utrata chrupkości i wzrost twardości związane były przede wszystkim ze wzrostem ich wilgotności, jakkolwiek czipsy te charakteryzowały się już nieznacznie twardszą konsystencją zaraz po wyprodukowaniu.

Ponieważ najpopularniejszym obecnie tłuszczem smaźalniczym używanym do produkcji smaźonych przekąsek jest olej palmowy, zbadano również jak różne modyfikacje tego oleju wpływają na kształtowanie cech jakościowych chipsów ziemniaczanych zaraz po wyprodukowaniu oraz podczas przechowywania (II). Jako tłuszcz smaźalniczy najczęściej wykorzystywana jest jedna z frakcji oleju palmowego – oleina palmowa. Równie popularnym palmowym tłuszczem smaźalniczym jest olej palmowy poddany częściowemu uwodornieniu. W przeprowadzonych badaniach porównywano właściwości przechowywanych chipsów ziemniaczanych smaźonych w tych dwóch rodzajach olejów palmowych.

Stwierdzono, że zmiana właściwości oleju palmowego w wyniku procesu uwodornienia istotnie wpływała na jakość świeżych jak i przechowywanych chipsów ziemniaczanych. Chipsy smaźone w oleju uwodornionym charakteryzowały się większą zawartością tłuszczu oraz twardszą konsystencją w porównaniu z chipsami smaźonymi w oleju płynnym. Podczas przechowywania stwierdzono zmiany w tłuszczu zawartym w obu rodzajach chipsów, przy czym przemiany hydrolityczne zachodziły intensywniej we frakcji tłuszczowej chipsów smaźonych w oleju uwodornionym, natomiast oksydacyjne – w oleju płynnym. Różnice we właściwościach frakcji tłuszczowej podczas przechowywania chipsów były jednak na tyle małe, że nie stwierdzono istotnych różnic w ogólnej ocenie organoleptycznej pomiędzy chipsami smaźonymi w analizowanych rodzajach oleju palmowego. Rodzaj tłuszczu smaźalniczego jednak istotnie wpływał na konsystencję chipsów zaraz po wyprodukowaniu jak i podczas przechowywania. Chipsy smaźone w oleju utwardzonym charakteryzowały się twardszą konsystencją w porównaniu z chipsami smaźonymi w oleju płynnym.

Pomimo że zmiany w przechowywanych produktach były często minimalne, ich kierunek był zbieżny z wynikami uzyskanymi w doświadczeniach modelowych. Uwzględniając zaobserwowane zależności pomiędzy rodzajem i jakością medium smaźalniczego, a właściwościami uzyskanych produktów przekąskowych można prognozować kierunek i tempo zachodzących przemian w produktach wytwarzanych na skalę przemysłową. Dobór odpowiedniego tłuszczu smaźalniczego jak i parametrów procesu technologicznego istotnie wpływał na wyżej omówione cechy jakościowe smaźonych przekąsek.

## **2.4. Wpływ parametrów technologicznych na zmniejszenie zawartości akrylamidu w chipsach ziemniaczanych (III, IV)**

Chipsy ziemniaczane należą do produktów charakteryzujących się jedną z najwyższych zawartości akrylamidu i stąd znalezienie efektywnych metod pozwalających na zmniejszenie jego zawartości stało się przedmiotem badań wielu autorów – między innymi autorki tego opracowania. W produkcji chipsów ziemniaczanych zaledwie w dwóch etapach można wprowadzać pewne zmiany, które pośrednio bądź bezpośrednio mogą wpływać na ilości tworzącego się akrylamidu. Pierwszym z tych etapów jest blanszowanie, proces powszechnie stosowany w celu ograniczenia zawartości cukrów redukujących

w surowcu, a przez to uzyskaniu czipsów o odpowiedniej żółtawozielonej barwie. Podczas blanszowania w wodzie (zwykle ogrzanej do temperatury około 70 °C (343,15 K)) w wyniku dyfuzji dochodzi do obniżenia zawartości cukrów redukujących jak i asparaginy (związków odpowiedzialnych za tworzenie akrylamidu), ubytek ten jednakże jest na tyle mały, że nie wpływa istotnie na obniżenie ilości tworzącego się w procesie smażenia akrylamidu. Blanszowanie przeprowadzane jest normalnie w środowisku obojętnym, a tym samym stwarza optymalne warunki dla syntezy akrylamidu. Obniżenie pH, poprzez zakwaszenie środowiska (pH = 4 –7), zmniejsza efektywność tworzenia akrylamidu poprzez blokowanie jednego z etapów reakcji [Jung i wsp., 2003].

W przeprowadzonych badaniach (III) zastosowano roztwory dwóch popularnych kwasów organicznych stosowanych w przetwórstwie spożywczym: kwasu cytrynowego oraz kwasu octowego. Plasterki ziemniaków różnych odmian poddawano moczeniu lub blanszowaniu w przygotowanych roztworach kwasów oraz porównawczo w wodzie. Następnie oznaczano pH soku oraz zawartość cukrów redukujących i asparaginy, a w usmażonych czipsach zawartość akrylamidu. Okazało się, że rodzaj użytego roztworu, a także parametry moczenia/blanszowania istotnie wpływały na skład chemiczny plasterków ziemniaka oraz zawartość akrylamidu w czipsach. Zastosowanie roztworów kwasów istotnie zwiększało ekstrakcję prekursorów akrylamidu, co szczególnie widoczne było podczas godzinowego moczenia plasterków w roztworze kwasu octowego (ekstrakcja cukrów redukujących i asparaginy na poziomie powyżej 60%). Ze względu na przebieg procesu technologicznego, za najlepszy wariant wybrano 3-minutowe blanszowanie, podczas którego pH soku ziemniaczanego wynosiło około 4, a ekstrakcja powyżej 30%. Uzyskane z takiego surowca czipsy ziemniaczane charakteryzowały się obniżoną o 50% zawartością akrylamidu, niezależnie od rodzaju użytego kwasu.

Prócz zakwaszenia środowiska reakcji oraz obniżenia zawartości reagentów poprzez częściową dyfuzję podczas moczenia lub blanszowania plasterków ziemniaka, innym sposobem na obniżenie ilości tworzącego się akrylamidu może być zwiększenie w układzie reakcyjnym ilości innych niż asparagina aminokwasów [Rydberg i wsp., 2003]. O ile w dosyć prosty sposób można zwiększyć zawartość wybranych aminokwasów w materiale uzyskiwanym poprzez zmieszanie różnych składników (tj. przy uzyskiwaniu ciasta w piekarnictwie), to nieco bardziej skomplikowany jest proces w przypadku materiału w postaci plasterków ziemniaka. Jako sposób wprowadzenia innych niż asparagina aminokwasów wybrano ponownie blanszowanie (IV). W doświadczeniu użyto roztwory dwóch aminokwasów (glutaminy i glicyny) w trzech różnych stężeniach. Okazało się, że niezależnie od stężenia, większą redukcję akrylamidu uzyskano stosując do roztworu blanszującego dodatek glicyny. W wybranym zakresie stężeń nawet najniższe stężenie glicyny (0,01 M) obniżało zawartość akrylamidu w otrzymanych czipsach ziemniaczanych na poziomie około 60%.

Tworzenie akrylamidu związane jest z reakcjami barwnymi Maillarda, które zachodzą w przetwarzanym materiale w wyniku obróbki cieplnej – smażenia w przypadku czipsów ziemniaczanych. Jak wykazano w badaniach modelowych ilość i tempo tworzenia akrylamidu w dużej mierze zależą od parametrów procesu: przede wszystkim temperatury, ale również czasu [Gertz i Klostermann, 2002; Haase i wsp., 2003; Matthäus

i wsp., 2004; Weisshaar, 2004]. Tradycyjnie chipsy ziemniaczane smaży się w wysokiej temperaturze (185–190 °C) (458,15–463,15 K), co pozwala na szybkie uzyskanie gotowego produktu o pożądanym cechach sensorycznych [Smith, 1987; Lisińska i Leszczyński, 1989; Lusas i Rooney, 2002]. Ponieważ jako temperaturę krytyczną, powyżej której w produktach ziemniaczanych tempo tworzenia akrylamidu istotnie wzrasta, wyznaczono temperaturę 175 °C (448,15 K), stąd w przeprowadzonym doświadczeniu (III), porównano w jakim stopniu obniżenie temperatury do 160 °C (333,15 K), wpłynie na obniżenie zawartości akrylamidu w chipsach ziemniaczanych. Jako że, akrylamid tworzy się w końcowym etapie smażenia wprowadzono dodatkową modyfikację w celu zminimalizowania ilości tego związku. Skrócono czas smażenia, a uzyskane chipsy charakteryzujące się już odpowiednią barwą, ale zbyt wysoką wilgotnością dosuszano w warunkach, w których nie dochodzi do tworzenia akrylamidu. Dzięki takiemu rozwiązaniu uzyskano obniżenie zawartości akrylamidu w otrzymanych chipsach o ponad 80% stosując obniżoną temperaturę smażenia i o około 70% przy zastosowaniu standardowej temperatury. Chipsy smażone w niższej temperaturze charakteryzowały się istotnie niższą zawartością akrylamidu w porównaniu z chipsami smażonymi w temperaturze 185 °C (458,15 K).

W przeprowadzonych doświadczeniach wyznaczono kilka efektywnych metod ograniczania zawartości akrylamidu w chipsach ziemniaczanych w wyniku modyfikacji parametrów i przebiegu procesu technologicznego (tab. 12). Pomimo że były to badania laboratoryjne, na ich podstawie można projektować pewne zmiany w parametrach procesu technologicznego prowadzonego na skalę przemysłową.

Tabela 12

Table 12

Metody ograniczania tworzenia akrylamidu podczas produkcji chipsów ziemniaczanych (III, IV)  
Effective ways of decreasing acrylamide content in potato chips during processing (III, IV)

Rodzaj procesu Kind of process	Redukcja [%] Reduction [%]
Moczenie w 0,05 M roztworze kwasu cytrynowego (60 min/20 °C (293,15 K)) Soaking in 0,05 M citric acid solution (60 min/20 °C (293,15 K))	50
Moczenie w 0,15 M roztworze kwasu octowego (60 min/20 °C (293,15 K)) Soaking in 0,15 M acetic acid solutions (60 min/20 °C (293,15 K))	90
Blanszowanie w 0,05 M roztworze kwasu cytrynowego (3 min/70 °C (243,15 K)) Blanching in 0,05 M citric acid solution (3 min/70 °C (243,15 K))	49
Blanszowanie w 0,15 M roztworze kwasu octowego (3 min/70 °C (243,15 K)) Blanching in 0,15 M acetic acid solution (3 min/70 °C (243,15 K))	49
Blanszowanie w 0,01 M roztworze glicyny (2 min/80 °C (253,15 K)) Blanching in 0,01 M glycine solution (2 min/80 °C (253,15 K))	60
Smażenie (2 min/185 °C (458,13 K)) i dosuszanie (75 min/105 °C (378,15 K)) Frying (2 min/185 °C (458,13 K)) and postdrying (75 min/105 °C (378,15 K))	69
Smażenie (3 min/160 °C (433,15 K)) i dosuszanie (75 min/105 °C (378,15 K)) Frying (3 min/160 °C (433,15 K)) and postdrying (75 min/105 °C (378,15 K))	83

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jakość produktów przekąskowych, tj. czipsów ziemniaczanych i różnego rodzaju chrupek w dużej mierze uzależniona jest od przebiegu procesu smażenia. Podczas smażenia nie tylko kształtowane są wyróżniki jakości sensorycznej, ale również wartość żywnościowa tej popularnej grupy produktów. Czynnikiem odgrywającym kluczową rolę jest rodzaj i jakość tłuszczu smaźalniczego, który jako nowy składnik gotowych produktów, istotnie wpływa na ich właściwości – zaraz po wyprodukowaniu oraz podczas przechowywania.

W przeprowadzonych badaniach znaleziono zależności pomiędzy rodzajem i jakością (stopniem degradacji) tłuszczu smaźalniczego, a właściwościami uzyskanych produktów przekąskowych. Szczególną uwagę zwrócono na teksturotwórczą rolę tłuszczu i określono zależności pomiędzy konsystencją produktów świeżych oraz podczas kilkumiesięcznego przechowywania, a wyróżnikami jakości tłuszczów. Uzyskane wyniki doświadczeń modelowych przeprowadzonych w laboratorium zweryfikowano analizując materiał badawczy pobierany bezpośrednio z linii technologicznych zakładów produkcyjnych. Stwierdzono, że uwzględniając zaobserwowane zależności pomiędzy rodzajem oraz jakością medium smaźalniczego, a właściwościami uzyskanych produktów przekąskowych można prognozować kierunek i tempo zachodzących przemian w produktach wytwarzanych na skalę przemysłową.

Wykazano również, że modyfikacja procesu smażenia polegająca na obniżeniu temperatury, nie wpływa istotnie na pogorszenie cech sensorycznych uzyskanych czipsów ziemniaczanych. Wyznaczono kilka efektywnych metod ograniczania tworzenia akrylamidu w procesie technologicznym otrzymywania czipsów ziemniaczanych.

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Parametry technologiczne oraz rodzaj medium smaźalniczego, stosowane podczas otrzymywania czipsów ziemniaczanych i chrupek, miały decydujący wpływ na kształtowanie ich jakości.
2. Smażenie czipsów ziemniaczanych w niższych temperaturach (170 °C) (443,15 K) nieznacznie zwiększało ilość pochłanianego tłuszczu, lecz nie pogarszało konsystencji i innych cech sensorycznych gotowych produktów.
3. Rodzaj medium smaźalniczego wpływał zarówno na ilość pochłanianego tłuszczu, jak i konsystencję otrzymanych czipsów ziemniaczanych. Stwierdzono zależność pomiędzy zawartością kwasu oleinowego w tłuszczach smaźalniczych, a konsystencją czipsów smażonych w rafinowanych olejach roślinnych.
4. Stopień degradacji tłuszczu smaźalniczego wpływał na właściwości otrzymywanych produktów przekąskowych. Czipsy i chrupki smażone w zdegradowanych olejach

- palmowym i tłuszczu modyfikowanym (uwodornionym oleju rzepakowym) chłoneły mniej tłuszczu, a ich konsystencja stawała się twardsza. Odwrotną zależność obserwowano podczas smażenia w oleju słonecznikowym i rzepakowym.
5. Stwierdzono dodatnią korelację pomiędzy konsystencją czipsów, a zawartością kwasu oleinowego w medium smaźalniczym. Konsystencja chrupek była dodatnio skorelowana z liczbą kwasową tłuszczu smaźalniczego oraz zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych, natomiast ujemnie z liczbą anizydynową.
  6. Kilkumiesięczne przechowywanie czipsów i chrupek wytworzonych z udziałem różnej jakości tłuszczów smaźalniczych wpływało na kształtowanie ich właściwości. Zmiany konsystencji czipsów smażonych w tłuszczach o różnym stopniu degradacji były skorelowane z długością okresu przechowywania, ich wilgotnością, rodzajem medium smaźalniczego (zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych) oraz zawartością nadtlenków wyrażoną jako liczba Lea. Konsystencja chrupek była dodatkowo skorelowana z liczbą kwasową oraz zawartością związków polarnych we frakcji tłuszczowej chrupek.
  7. Blanszowanie w roztworach kwasów organicznych (cytrynowego lub octowego) bądź w roztworach aminokwasów (glicyny) pozwalało na uzyskanie czipsów o obniżonej o 50% zawartości akrylamidu.
  8. Zastosowanie niższej temperatury (poniżej 160 °C) (433,15K) smażenia czipsów ziemniaczanych wraz ze skróceniem czasu smażenia i dodatkowym podsuszeniem czipsów do wymaganej wilgotności (poniżej 2%) obniżało zawartość akrylamidu w gotowym produkcie o 80%.

## 4. PIŚMIENICTWO

- Abdalla A.E.M.: 1999. Antioxidative effect of olive oil deodorizer distillate on frying oil and quality of potato chips. *Fett/Lipid*, 101, 1, 57–63.
- Amrein T., Bachman S., Noti A., Biedermann M., Ferraz Bardosa M., Biederman-Brem S., Grob K., Keiser A., Realini P., Escher F., Amado R.: 2003. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming system. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 5556–5560.
- Andrikopoulos N.K., Kalogeropoulos N., Falirea A., Barbagianni M.N.: 2002. Performance of virgin olive oil and vegetable shortening during domestic deep-frying and pan-frying of potatoes. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 37, 177–190.
- Annapure U.S., Singhal R.S., Kulkarni P.R.: 1998. Studies on deep-fry fried snacks from some cereals and legumes. *J. Sci. Food Agric.*, 76, 377–382.
- Banks D.: 1996. Introduction [In:] *Deep Frying: Chemistry Nutrition and Practical Applications*. Perkins E.G. & Erickson M.D., eds. AOAC Press, Champaign, Illinois, 1–3.
- Banks D.E., Lusas E.W.: 2002. Oils and industrial frying [In:] *Snack Food Processing*. Lusas E.W. & Rooney L.W., ed. CRC Press Boca Raton, London, New York, Washington D.C., 137–204.
- Barrera-Arellano D., Ruiz-Mendez V., Velasco J., Marquez-Ruiz G., Dobarganes C.: 2002. Loss of tocopherols and formation of degradation compounds at frying temperatures in oils differing in degree of unsaturation and natural antioxidant content. *J. Sci. Food Agric.*, 82, 1696–1702.
- Bastida S., Sanchez-Muniz F.J.: 2002. Polar content vs. TAG oligomer content in the frying-life assessment of monounsaturated and polyunsaturated oils used in deep-frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 79, 447–451.
- Becalski A., Lau B. P.-Y., Lewis D., Seaman S.W., Harward S., Sahagian M., Ramesh M., Leclerc Y.: 2004. Acrylamide in French fries: influence of free amino acids and sugars. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 3801–3806.
- Becalski A., Lau B.P.-Y., Lewis D., Seaman S.W.: 2003. Acrylamide in food: occurrence, sources, and modeling. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 802–808.
- Billek G.: 2000. Health aspects of thermoxidized oils and fats. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102, 587–593.
- Blahovec J., Vacek J., Patočka K.: 1999. Texture of fried potato tissue as affected by pre-blanching in some salt solutions. *J. Texture Stud.*, 30, 493–507.

- Blenkisp R., Copp L., Yada R., Marangoni A.: 2002. Changes in compositional parameters of tubers of potato (*Solanum tuberosum*) during low-temperature storage and their relationship to chip processing quality. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4545–4553.
- Blumenthal M.M., Stier R.F.: 1991. Optimization of deep-fat frying operations. *Trends Food Sci. Technol.*, 2, 144–148.
- Blumenthal M.M.: 1991. A new look at the chemistry and physics of deep fat frying. *Food Technol.*, 45(2), 68–71.
- Bourne M.C.: 2002. Correlation between physical measurements and sensory assessments of texture and viscosity. [In:] *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press. 2<sup>nd</sup> ed. , 293–324.
- Bourne M.C.: 2002. Texture, viscosity and food. [In:] *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement*. Academic Press. 2<sup>nd</sup> ed. , 1–32.
- Brinkmann B.: 2000. Quality criteria of industrial frying oils and fats. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102, 539–541.
- Budzyńska-Topolowska J., Ziemiański Ś.: 1992. Zmiany zachodzące w tłuszczach i ich wpływ na wartość odżywczą. *Żyw. Człow. Metab.*, 19(2), 95–96.
- Bunger A., Moyano P., Rioseco V.: 2003. NaCl soaking treatment for improving the quality of French-fried potatoes. *Food Res. Int.*, 36(2), 161–166.
- Che Man Y.B., Ammawath W., Rahman R.A., Yusof S.: 2003. Quality characteristics of refined, bleached and deodorized palm olein and banana chips after deep-fat frying. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 395–401.
- Che Man Y.B., Liu J.L., Jamilah B., Abdul Rahman R.: 1999a. Changes of refined-bleached-deodorized palm olein, soybean oil and their blends during deep-fat frying. *J. Food Lipids*, 6, 181–193.
- Che Man Y.B., Tan C.P.: 1999b. Effects of natural and synthetic antioxidants on changes in refined, bleached, and deodorized palm olein during deep-fat frying of potato chips. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76, 3, 331–339.
- Che Man Y.B., Wan Hussin W.R.: 1998. Comparison of the frying performance of refined, bleached and deodorized palm olein and coconut oil. *J. Food Lipids*, 5, 197–210.
- Claeys W.L., de Vleeschouwer K, Hendrickx E.: 2005. Quantification the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 181–193.
- Debnath S., Bhat K.K., Rastogi N.K.: 2003. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 36, 91–98.
- Dobarganes C., Márquez-Ruiz G., Velasco J.: 2000. Interaction between fat and food during the frying process. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102, 521–528.
- Drozdowski B.: 1996. Lipidy [w:] *Chemiczne i funkcjonalne właściwości składników żywności*. Praca zbiorowa pod redakcją Sikorskiego Z.E., WNT Warszawa, 167–233.



- Drozdowski B., Tynek M., Hazuka Z., Pawłowicz R., Kurzyńska A.: 1998. Kinetyka przemian wybranych tłuszczów smażalniczych podczas ich magazynowania. *Tłuszcze Jadalne*, 33, (3/4), 161–170.
- du Plessis L.M., Meredith A.J.: 1999. Palm olein quality parameter changes during industrial production of potato chips. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76(6), 731–738.
- Durston J.: 2004. The end of acrylamide? *Potato Business World*, 3(12), 2.
- E.C. Commission Directive 92/39/EEC, amending Directive 90/128/EEC relating to plastic materials and articles intended to come into contact with foodstuffs. *Official Journal of the European Communities*, 1992, L 168, 21–29.
- Fahloul D., Scanlon M.G.: 1996. A fracture mechanics analysis of the texture of potatoes. *J. Texture Stud.*, 27, 545–557.
- Friedman M.: 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 4504–4526.
- Fritch C.H.: 1981. Measurements of frying fat deterioration. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58(3), 272–274.
- Gamble M.H., Rice P.: 1987a. Effect of pre-fry drying of oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 22, 535–548.
- Gamble M.H., Rice P., Selman J.D.: 1987b. Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 22, 233–241.
- Garayo J., Moreira R.: 2002. Vacuum frying of potato chips. *J. Food Eng.*, 55, 181–191.
- Garcia M.A., Ferrero C., Bertola N., Martino M., Zaritsky N.: 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.*, 3(4), 391–397.
- Gertz Ch., Klostermann S.: 2002. Analysis of acrylamide and mechanism of its formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104, 762–771.
- Gogolewski M., Nogala-Kałuża M., Kupczyk B.: 1993. Wpływ warunków przechowywania olejów na trwałość i przydatność konsumpcyjną. *Rocz. AR w Poznaniu*, CCXLVIII, 11–16.
- Grizotto R., Menezes H.C.: 2002. Effect of cooking on the crispness of cassava chips. *J. Food Sci.*, 67(3), 1219–1223.
- Grob K., Biedermann M., Biedermann-Brem S., Noti A., Imhof D., Amrein T., Pfeifferle A., Bazzocco D.: 2003. French fries with less than 100 µg/kg acrylamide. A collaboration between cooks and analysts. *Eur. Food Res. Technol.*, 271(3), 185–194.
- Guillaumin R.: 1988. Kinetics of fat penetration in food in frying of food. [In:] *Frying of Food; Principles, Changes, New approaches*. Ed. Ravela G., A.E. Bender & I.D. Morton. Chichester: Ellis Horwood, 82–89.
- Guinda Á., Dobarganes M.C., Ruiz-Mendez M.V., Mancha M.: 2003. Chemical and physical properties of a sunflower oil with high levels of oleic and palmitic acids. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 105, 130–137.
- Guraya H.S., Toledo R.T.: 1996. Microstructural characteristics and compression resistance as indices sensory texture in a crunchy snack product. *J. Texture Stud.*, 27, 687–701.

- Haase N.U., Matthäus B., Vosmann K.: 2003. Acrylamide formation in foodstuffs – minimizing strategies for potato crisps. *Dtsch. Lebensm.-Rundsch.*, 99, 87–90.
- Hazuka Z., Pawłowicz R., Tynek M., Drozdowski B.: 2000. Correlation of quality of frying oil and oil extracted from potato fritters fried in liquid and partially hydrogenated rapeseed oils. *J. Food Lipids*, 7, 225–236.
- Houhoula D.P., Oreopoulou V., Tzia C.: 2003a. Antioxidant efficiency of oregano during frying and storage of potato chips. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 1499–1503.
- Houhoula D.P., Oreopoulou V., Tzia C.: 2003b. The effect of process time and temperature on the accumulation of polar compounds in cottonseed oil during deep-fat frying. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 314–319.
- Houhoula D.P., Oreopoulou V., Tzia C.: 2004. Antioxidant efficiency of oregano in frying and storage of fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 746–751.
- Hoŭska M., Cyganik M., Valentova H., Kalinova L., Kynos K.: 1996. Correlation of sensory and instrumental texture of crisp foods. *Potrav. Vedy*, 14(6), 427–440.
- IARC, Acrylamide. In IARC Monographs on the evaluation of the cancerogenic risk of chemicals to humans. International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1994, 60, 389–433.
- Jaswir I., Che Man J.B., Kitts D.D.: 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Res. Int.*, 33, 501–508.
- Jonnalagadda P.R., Bhat R.V., Sudershan R.V., Nadamuni Naidu A.: 2001. Suitability of chemical parameters in setting quality standards for deep-fried snacks. *Food Quality Pref.*, 12, 223–228.
- Jung M.Y., Choi D.S., Ju J.W.: 2003. Novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries. *J. Food Sci.*, 68(4), 1287–1290.
- Kawas M.L., Moreira R.: 2001. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *J. Food Eng.*, 47, 97–107.
- Kita A.: 2001. Wpływ rodzaju przyprawy na jakość czipsów ziemniaczanych podczas przechowywania. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 407, 6–21.
- Kita A.: 2002a. Factors affecting potato chips texture during storage. *Acta Agroph.*, 7, 23–32.
- Kita A.: 2002b. The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chem.*, 76, 173–179.
- Kita A., Lisińska G., Tajner-Czopek A., Rytel E.: 1998. The effects of potato variety and other factors on fat contents of chips. International Conference. Lithuanian Agricultural Academy, Kaunas, 231–238.
- Kita A., Rytel E., Tajner-Czopek A., Lisińska G.: 2000. Konsystencja czipsów w zależności od terminu zbioru ziemniaków. *Żywność Nauka Technologia Jakość. Supplement*, 4(25), 60–69.
- Kita A., Pęksa A., Zięba T., Figiel A.: 2002. The influence of pellets moisture and dietary fiber addition on some potato snacks properties. *Acta Agroph.*, 7, 33–42.

- Kita A., Michalski A., Lisińska G.: 2003a. Changes of potato chips moisture by the logistic regression model in different kinds of chips storage. *Acta Agroph.*, 96(2), 311–322.
- Kita A., Zięba T., Tajner-Czopek A.: 2003b. Properties of fried potato snacks with df addition in dependence on frying medium quality. *Horticulture and Vegetable Growing*, 22(4), 190–196.
- Kita A., Lisińska G.: 2005. The influence of oil type and frying temperatures on the texture and oil content of French fries. *J. Sci. Food Agric.*, 85(15), 2600–2604.
- Kita A., Lisińska G., Powolny G.: 2005. The influence of frying medium degradation on fat uptake and texture of French fries. *J. Sci. Food Agric.*, 85(7), 1113–1118.
- Kochhar S.P.: 2000a. Stable and healthful frying oil for the 21st century. *Inform*, 11, 642–647.
- Kochlar S.P.: 2000b. Stabilization of frying oils with natural antioxidative components. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102, 552–559.
- Kochhar S.P., Gertz C.: 2004. New theoretical and practical aspects of the frying process. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 722–727.
- Kowalczyk J.: 1998. Tłuszcze, smażenie, frytowanie. *Food Service*, 4, 32–34.
- Kristott J.: 2003. High-oleic oils – how good are they for frying? *Lipid Technol.*, March, 29–32.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B.: 2000. Water loss and oil uptake as a function of frying time. *J. Food Eng.*, 44, 39–46.
- Kulkarni K.D., Govinden N., Kulkarni D.N.: 1994. Crisp quality of two potato varieties: effects of dehydration and rehydration. *J. Sci. Food Agric.*, 64, 205–210.
- Lalas S., Dourtoglu V.: 2003. Use of rosemary extract in preventing oxidation during deep-fat frying of potato chips. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 80(6), 579–583.
- Lamberg I., Hallstrom B., Olsson H.: 1990. Fat uptake in a potato drying/frying process. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 23(4), 295–300.
- Lima I., Singh R.P.: 2001. Mechanical properties of a fried crust. *J. Texture Stud.*, 32, 31–40.
- Lingnert H., Grivas S., Jägerstad M., Skog K., Törnqvist M., Aman P.: 2002. Acrylamide in food: mechanisms of formation and influencing factors during heating foods. *Scand. J. Nutr.*, 46, 159–172.
- Lisińska G., Jaworska A., Malkiewicz H.: 1989. Jakość ziemniaka smażonego. Cz. IX. Wpływ zabiegów technologicznych na jakość czipsów ziemniaczanych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 184, 125–132.
- Lisińska G., Kita A., Tajner A., Moskal B.: 1996. Zmiany jakości czipsów ziemniaczanych podczas przechowywania. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 305, 79–89.
- Lisińska G., Leszczyński W.: 1989. *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science, London.
- Lisińska G., Radziwoń M., Plizga I., Pęksa A., Jurczyk E.: 1994. Zmiany jakości czipsów ziemniaczanych podczas przechowywania. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 244, 141–150.
- Lusas E.W., Rooney L.W.: 2002. *Snack Food Processing*. ed. CRC Press Boca Raton, London, New York, Washington D.C.

- Marquez Ruiz G., Polvillo M.M., Jorge N., Ruiz Mendez M.V., Dobarganes M.C.: 1999. Influence of used frying oil quality and natural tocopherol content on oxidative stability of fried potatoes. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76(4), 421–425.
- Matthäus B., Haase N.U., Vosmann K.: 2004. Factors affecting the concentration of acrylamide during deep-fat frying of potatoes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 793–801.
- McDonough C., Gomez M.H., Waniska R.D., Rooney L.W.: 1993. Environmental scanning electron microscopy evaluation of tortilla chips microstructure during deep-fat frying. *J. Food Sci.*, 58(1), 199–203.
- Mellena M.: 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 14(9), 364–373.
- Moreira R.G., Sun X., Chen Y.: 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *J. Food Eng.*, 31, 485–498.
- Mottram D.S., Wedzicha B., Dodson A.T.: 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419, 448–449.
- Nawar W.W.: 1996. *Lipids in Food Chemistry*, 3<sup>rd</sup> edition, Femmena O.R., ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 225–319.
- Noti A., Biedermann-Brem S., Biedermann M., Grob K., Albisser P., Realini P.: 2003. Storage of potatoes at low temperature should be avoided to prevent increased acrylamide formation during frying or roasting. *Mitt. Lebensm. Hyg.*, 94, 167–180.
- Olsson K., Svensson R., Roslund C-A.: 2004. Tuber components affecting acrylamide formation and colour in fried potato: variation by variety, year, storage temperature and storage time. *J. Sci. Food Agric.*, 84, 447–458.
- Pałasiński J., Międzybrodzka A.: 1990. Wpływ warunków przechowywania na jakość czipsów. *Przem. Spoż.*, 1, 17–18.
- Pangloli P., Melton S.L., Collins J.L., Penfield M.P., Saxton A.M.: 2002. Flavor and storage stability of potato chips fried in cottonseed and sunflower oils and palm olein/sunflower oil blends. *J. Food Sci.*, 67(1), 97–103.
- Paul S., Mittal G.S.: 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 37(7), 635–662.
- Pedreschi F., Kaack K., Granby K.: 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 37, 679–685.
- Pedreschi F., Moyano P., Kaack K., Granby K.: 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices. *Food Res. Int.*, 38(1), 1–9.
- Pęksa A., Kita A., Zięba T.: 2004. Wybrane właściwości smażonych chrupek ziemniaczanych z różnym dodatkiem błonnika. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 3 (40), 106–113.
- Pęksa A.: 2006. Ocena jakości preparatów białka ziemniaczanego otrzymanych w różnych warunkach technologicznych i ich przydatność w produkcji wyrobów ekstrudowanych. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 533 (rozprawa habilitacyjna).
- Petukhov I., Malcolmson L.J., Przybylski R., Armstrong L.: 1999a. Storage stability of potato chips fried in genetically modified canola oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76(3), 889–896.

- Petukhov I., Malcolmson L.J., Przybylski R., Armstrong L.: 1999b. Frying performance of genetically modified canola oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76(5), 627–632.
- Pinthus E.J., Weinberg P., Saguy I.S.: 1993. Criterion for oil uptake during deep-fat frying. *J. Food Sci.*, 58(1), 221–222.
- Pinthus E.J., Weinberg P., Saguy I.S.: 1995. Deep-fat fried potato product oil uptake as affected by crust physical properties. *J. Food Sci.*, 60(4), 770–772.
- PN-A-74780. Przetwory ziemniaczane. Smażone przekąski ziemniaczane.
- Rani M., Chauhan G.S.: 1995. Effect of intermittent frying and frying medium on the quality of potato chips. *Food Chem.*, 54(4), 365–368.
- Romero A., Sanchez-Muniz F.J., Cuesta C.: 1995. High-performance size-exclusion chromatographic studies on a high-oleic acid sunflower oil during potato frying. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 72(12), 1513–1517.
- Romero A., Cuesta C., Sanchez-Muniz F.J.: 1998. Effect of oil replenishment during deep-fat frying of frozen foods in sunflower oil and high-oleic acid sunflower oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75(2), 161–167.
- Romero A., Cuesta C., Sanchez-Muniz F.J.: 2000. Cyclic fatty acid monomers and thermooxidative alteration compounds formed during frying of frozen foods in extra virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77(11), 1169–1175.
- Romero A., Cuesta C., Sanchez-Muniz F.J.: 2003. Cyclic FA monomers in high-oleic acid sunflower oil and extra virgin olive oil used in repeated frying of fresh potatoes. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 80(5), 437–442.
- Rosén J., Hellenäs K-E.: 2002. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *The Analyst*, 127(7), 880–882.
- Ross K.A., Scanlon M.G.: 2004. Fracture mechanics analysis of the texture of fried potato crust. *J. Food Eng.*, 62(4), 417–423.
- Rossel J.B.: 2003. Developments in oils for commercial frying. *Lipid Technol.*, 1, 5–8.
- Rydberg P., Eriksson S., Tareke E., Karlsson P., Ehrenberg L., Törnqvist M. : 2003. Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 7012–7018.
- Rynek Ziemniaka. Listopad. 2005, 17.
- Saguy I.S., Dana D.: 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J. Food Eng.*, 56, 143–152.
- Saguy I.S., Gremaud E., Gloria H., Turesky R.J.: 1997. Distribution and quantifying of oil uptake in deep-fat fried product utilizing a radiolabeled <sup>14</sup>C palmitic acid. *J. Agric. Food Chem.*, 45(11), 4286–4289.
- Satyanarayana A., Giridhar N., Joshi G.J., Rao D.G.: 2000. Ascorbyl palmitate as an antioxidant for deep fat frying of potato chips in peanut oil. *J. Food Lipids* 7, 1–10.
- Segnini S., Dejmek P., Öste R.: 1999a. Relationship between instrumental and sensory analysis of texture and color of potato chips. *J. Texture Stud.*, 30, 677–690.
- Segnini S., Dejmek P., Öste R.: 1999b. Reproducible texture analysis of potato chips. *J. Food Sci.*, 64, 2, 309–312.

- Senthil A., Ravi R., Bhat K.K., Seethalaksmi M.K.: 2002. Studies on the quality of fried snacks based on blends of wheat flour and soya flour. *Food Quality and Preference*, 13, 267–273.
- Sharma H.K., Singhal R.S., Kulkarni P.R.: 1996. Potato chips frying in oil blends. *J. Food Lipids*, 3, 155–159.
- Smith O.: 1987. [In:] *Potato Processing* 4<sup>th</sup> ed. Talburt W.F. & Smith O. AVI Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Stadler R.H., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P., Robert M.C., Riediker S.: 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419, 449–450.
- Stier R.F.: 2004. Frying as a science – an introduction. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 715–721.
- Surmacka-Szcześniak A.: 1988. The meaning of textural characteristics – crispness. *J. Texture Stud.*, 19, 51–59.
- Szcześniak A., Hall B.J.: 1975. Application of the general foods texturometer to specific food products. *J. Texture Stud.*, 6, 117–138.
- Szukalska E.: 2003a. Wybrane zagadnienia utleniania tłuszczów. *Tłuszcze Jadalne*, 38(1–2), 42–57.
- Szukalska E.: 2003b. Technologie stosowane do otrzymywania tłuszczów smażalnych. *Tłuszcze Jadalne*, 38(3–4), 118–137.
- Takeoka G., Perrino C., Bustery R.: 1996. Volatile constituents of used frying oils. *J. Agric. Food Chem.*, 44, 654–660.
- Tareke E., Rydberg P., Karlsson P., Eriksson S., Törnqvist M.: 2002. Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *J. Agric. Food Chem.*, 50, 4998–50006.
- Tasioula-Margari M.G., Marquez-Ruiz G., Dobarganes M.C.: 1996. Fractionation of oligomeric triacylglycerides and the relationship to rejection limits for used frying oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73, 1579–1584.
- Taubert D., Harlfinger S., Henkes L., Berkels R., Schömig E.: 2004. Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 2735–2739.
- Timms R.E.: 2005. Fractional crystallization – the fat modification process for the 21<sup>st</sup> century. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 107, 48–57.
- Tompkins C., Perkins E.G.: 2000. Frying performance of low-linolenic acid soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 223–229.
- Tynek M., Hazuka Z.: 2004. Dodatki ograniczające przemiany termooksydacyjne tłuszczów. *Przem. Spoż.*, 12, 42–46.
- Tynek M., Hazuka Z., Pawłowicz R., Dudek M.: 2001. Changes in the frying medium during deep-frying of food rich in proteins and carbohydrates. *J. Food Lipids*, 8, 251–261.
- Ufheil G., Escher F.: 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *LWT*, 29, 640–644.
- Varela G., Bender A.E., Morton I.D.: 1988. *Frying of Food*. Ellis Horwood Ltd., Chichester.

- Vattem D., Shetty K.: 2003. Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.*, 4, 331–338.
- Warner K., Gupta M.: 2003. Frying quality and stability of low- and ultra-low linolenic acid soybean oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 80(3), 275–280.
- Warner K., Orr P., Glynn M.: 1997. Effect of fatty acids composition of oils on flavor and stability of fried foods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 74(4), 347–355.
- Weisshaar R.: 2004. Acrylamide in heated potato products – analytics and formation routes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 786–792.
- WHO. Guidelines for drinking-water quality (2en ed). Heath criteria and other supporting information, 2. Geneva: Organic constituents. 1996.
- Wicklund T., Østlie H., Knutsen S.H., Bråthen E., Kita A.: 2006. Acrylamide in potato crisp – the effect of raw material and processing. *LWT – Food Sci. Technol.*, 39, 571–575.
- Williams J.S.E.: 2005. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chem.*, 90, 875–881.
- Xu X.-Q.: 2003. A chromametric method for the rapid assessment of deep frying oil quality. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 1293–1296.
- Yanishlieva N.V., Marinova E.M.: 2001. Stabilization of edible oils with natural antioxidants. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 103, 752–767.
- Yaylayan V.A., Wronowski A., Perez Locas C.: 2003. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *J. Agric. Food Chem.*, 51(6), 1753–1757.
- Zalewski S., Hoffman M.: 1997. *Thuszcz w procesach kulinarnych. Przegląd Gastronomiczny*, 9, 3–5.
- Zyzak D., Anders R., Stokanovic M., Tallmadge D., Ebehart B., Ewald D.: 2003. Acrylamide formation mechanizm in heated foods. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 4782–4787.

## THE EFFECTS OF SOME TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE QUALITY OF FRIED SNACK PRODUCTS

### S u m m a r y

One of the most popular groups of snack products are potato chips and many kinds of crisps, the properties of which are influenced by frying processes. Among sensory characteristics, crucial, but also the least known is delicate, crispy texture of the product. Another important quality factor is fat content, which in the finished product ranges from 20 to 40%. Fat content affects flavour and aroma of the product as well as its texture. The quality of fat used for frying is also of major significance. Changes in fat and fried products occurring during processing result in the development of various compounds, of which some exhibit toxic or even cancerogenic activities. One of them is acrylamide.

The purpose of the present study was to determine the effects of some technological parameters on the quality of fried snack products, i.e. potato chips and crisps. The determinations included the impact of the frying medium (type and degradation degree) on subsequent properties of snack product constituents, especially texture-forming capability of adsorbed fat. Besides, the objective of the study was to find effective methods for reducing acrylamide formation during potato chips production.

The results obtained in the study show that both the technological parameters and the frying medium used for potato chips and crisps production were decisive factors affecting the quality of the finished product. When potato chips were fried at lower temperatures (170°C) (443,15K), the quantity of absorbed fat slightly increased, but no deterioration of the texture and other sensory characteristics of the finished products was observed. The frying medium influenced both the quantity of absorbed fat and texture of potato chips. A relationship between the content of oleic acid present in frying oils and the texture of chips fried in refined vegetable oils was observed. The degradation degree of frying fat influenced the properties of fried snack products. Potato chips and crisps fried in degraded palm oil and modified (hydrogenated) rapeseed oil absorbed less fat and their texture became harder. An opposite relationship was observed when chips and crisps were fried in sunflower and rapeseed oils. A positive correlation was found between the texture of the product and oleic acid content of the frying medium. The texture of crisps was positively correlated with the acid value of the frying oil and the content of saturated fatty acids and negatively correlated with anisidine value. The texture of crisps was positively correlated with the acid value of the frying medium and saturated fatty acid content, but it was negatively correlated with anisidine value. Several months' storage of chips and crisps produced in frying oils varying in quality influenced their subsequent quality. Changes in the texture of the chips fried in oils exhibiting various degradation degree were correlated with the length of storage, moisture content, frying medium (saturated fatty acid content) and the content of peroxides expressed as the Lea number. The texture of crisps was positively correlated with acid value and the content of polar compounds in the fatty fraction of crisps.



Blanching in the solutions of organic acids (citric or acetic) or amino acids (glycin) resulted in 50% reductions in acrylamide content of the potato chips. A decrease in frying temperature (below 160°C) (433,15K) accompanied with shorter frying time and extra post-drying of potato chips to the moisture content required (below 2%) reduced acrylamide content of the finished product by 80%.