



Agnieszka Tajner-Czopek

Wpływ zabiegów technologicznych
na właściwości frytek ziemniaczanych
i zawartość akrylamidu



Autor

dr inż. Agnieszka Tajner-Czopek

Opiniodawca

prof. dr hab. Mieczysław Pałasiński

Redaktor merytoryczny

prof. dr hab. Ewelina Dziuba

Opracowanie redakcyjne

mgr Anna Piskor

Korekta

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie

Halina Sebzda

Projekt okładki

Marika Modzelewska

Monografie CXX

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2011

ISSN 1898-1151

ISBN 978-83-7717-042-7

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO WE WROCŁAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopotcka 23, 50-344 Wrocław, tel. 71 328-12-77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. wyd. 6,7. Ark. druk. 5,5

Druk F.P.H. „ELMA”

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
1.1. Wprowadzenie	7
1.2. Właściwości frytek ziemniaczanych	9
1.3. Akrylamid w produktach smażonych z ziemniaka	12
1.4. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka a ilość akrylamidu we frytkach	16
1.5. Proces technologiczny a zawartość akrylamidu we frytkach	18
2. GENEZA I CEL PRACY	22
3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ	23
3.1. Materiał badawczy	23
3.2. Przebieg badań	23
3.3. Metody analiz	31
3.4. Sposób przedstawienia wyników	33
4. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE	34
4.1. Barwa frytek i zawartość akrylamidu w zależności od użytego surowca	34
4.2. Tekstura, barwa frytek i zawartość akrylamidu w zależności od warunków blanszowania w wodzie	38
4.3. Zawartość tłuszczu, tekstura i barwa frytek oraz ilość powstającego akrylamidu jako efekt blanszowania w roztworach pektyn	43
4.4. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt dodatku pektynolitycznego preparatu enzymatycznego do blanszowania	47
4.5. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt podsuszania krajanki ziemniaczanej	52
4.6. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt wpływu temperatury i czasu smażenia	56
5. DYSKUSJA	59
6. WNIOSKI	68
7. PIŚMIENNICTWO	69
8. OBJAŚNIENIA	82

1. WSTĘP

1.1. Wprowadzenie

Wraz z postępowaniem cywilizacyjnym odnotowywany jest ciągły wzrost spożycia ziemniaków przetworzonych w postaci smażonych produktów przekąskowych, do których zaliczane są: różnego rodzaju chrupki (typu snacks), czipsy oraz frytki. Z grupy tych produktów frytki cieszą się dużą popularnością wśród konsumentów ze względu na korzystne cechy organoleptyczne i możliwość łatwego przygotowywania z nich posiłku podstawowego lub przekąski. Przemysłowa produkcja frytek w Polsce ciągle wzrasta (tab. 1).

Tabela 1
Table 1

Produkcja frytek w tys. ton [Dzwonkowski i in. 2010]
Production of French fries in thousand tons [Dzwonkowski et al. 2010]

Produkt Product	2003	2005	2007	2009	2010*
Frytki French fries	121,0	143,2	154,4	161,3	166,0

* prognoza – prognosis

Ciągły wzrost produkcji frytek związany jest z rosnącym zapotrzebowaniem rynku na ten produkt, który coraz chętniej spożywany jest przez konsumenta w barach szybkiej obsługi typu „fast-food”, restauracjach lub w domu. Frytki cieszą się dużą popularnością szczególnie wśród dzieci i młodzieży, ze względu na ich przyjemny aromat i smak oraz zróżnicowany asortyment (frytki proste, karbowane, talarki, kulki itp.). Możliwość sporządzenia frytek z półproduktu w domu – przez dosmażenie w oleju na patelni bądź podgrzanie w piekarniku lub w kuchence mikrofalowej czyni ten produkt jeszcze bardziej atrakcyjnym.

Wymagania konsumentów dotyczące jakości frytek są wysokie i ściśle określone. W pierwszej kolejności konsument zwraca uwagę na podstawowe wyróżniki jakości – barwę, smak i zapach. Duże znaczenie ma również tekstura, a szczególnie istotna jest zawartość tłuszczu w gotowym produkcie [Talbert, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989, Lisińska i in. 2009]. Konsument akceptują frytki ładnie wyglądające, apetycznie „przyłożone”, chrupkie, smaczne i mało „tłuste” (ze względów zdrowotnych i estetycznych). Rolą producenta jest natomiast przygotowanie produktu bezpiecznego dla zdrowia, zawierającego jak najmniej substancji antyżywnościowych czy toksycznych. Jedną z mniej znanych substancji, którą mogą zawierać frytki, jest akrylamid [Friedman 2003, Skibniewska i in. 2003, De Wilde i in. 2005, Bekas i in. 2009, Gielecińska, Mojska 2009, Mojska i in. 2009].

Akrylamid ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CONH}_2$) został sklasyfikowany jako związek „potencjalnie kancerogenny dla ludzi” i zaliczony został do grupy (2A), a spożywanie żywności o podwyższonej ilości tego związku znacznie zwiększa ryzyko zachorowania na raka [Friedman 2003, Mucci, Adami 2005, LoPachin 2005, Friedman, Levin 2008]. Informacja ta skłoniła badaczy w wielu ośrodkach naukowych do rozpoczęcia badań nad budową tego związku i mechanizmem jego powstawania, a także nad ewentualną możliwością obniżenia jego zawartości w produktach spożywczych. Zawartość akrylamidu (AA) we frytkach podawana przez różnych autorów waha się w zależności od użytego surowca, czynników uprawowych kształtujących skład chemiczny ziemniaka, warunków jego przechowywania czy też zróżnicowanych parametrów technologicznych stosowanych w czasie sporządzania gotowego produktu, zarówno w warunkach domowych, jak i przemysłowych. Zawartość AA we frytkach może się kształtować w zakresie od 50–12 000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Friedman 2003, Fiselier, Grob 2005]. Jak dotąd nie został ustalony limit dotyczący maksymalnego, dopuszczalnego poziomu akrylamidu we frytkach, jak również w innych produktach żywnościowych [Mojska 2007, FAO/WHO 2008, FAO/WHO 2009].

Z uwagi na ryzyko zagrożenia zdrowia ludzkiego przez spożycie produktów zawierających AA powstające w wyniku zastosowania obróbki termicznej surowców skrobiowych w temperaturze powyżej 120°C Komisja Wspólnot Europejskich uznała, że istnieje pilna konieczność przeprowadzenia badań dotyczących zawartości akrylamidu w żywności na terenie całej Wspólnoty Europejskiej. W związku z tym, z dniem 3 maja 2007 r. weszło w życie zalecenie Komisji Wspólnot Europejskich (2007/307/UE) w sprawie monitorowania poziomów akrylamidu w żywności we wszystkich krajach członkowskich w latach 2007–2009. Komisja wyznaczyła do przebadania dziesięć kategorii środków spożywczych, w tym dwie dotyczyły frytek – mianowicie frytek w formie gotowej do spożycia i frytek wstępnie podsmażonych [Mojska 2007].

W Polsce nadzór nad tymi badaniami pełni Główny Inspektor Sanitarny, natomiast plany monitoringowe badań, zgodnie z zaleceniami Komisji UE, są opracowywane w Instytucie Żywności i Żywienia w Warszawie, który również koordynuje pobieranie próbek do badań. Po zakończeniu badań monitoringowych w 2010 r. planowane jest opracowanie wyników będących sprawozdaniem z przeprowadzonych badań. Wnikliwe badania poziomu akrylamidu pozwolą na określenie jego zawartości w produktach spożywczych, umożliwią oszacowanie przeciętnego dziennego pobrania AA z dietą, ocenę ryzyka zagrożenia zdrowia wynikającego z dostarczenia organizmowi AA wraz z żywnością. Prawdopodobnie też umożliwi to opracowanie maksymalnego dopuszczalnego poziomu akrylamidu w żywności [Mojska 2007, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2007].

W Polsce badania dotyczące zawartości akrylamidu oraz możliwości obniżenia jego ilości we frytkach nie mogły być do niedawna prowadzone ze względu na brak specjalistycznej aparatury, która umożliwi przeprowadzenie oznaczeń. Od roku 2007 Katedra Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, pierwsza w Polsce, dysponuje chromatografem cieczowym z tandemowym spektrometrem masowym (HPLC/MS/MS). Zespół pracowników Katedry Technologii Rolnej i Przechowalnictwa opracował metodę oznaczania zawartości AA przy użyciu tego aparatu, w produktach smażonych z ziemniaka (frytkach, czipsach, chrupkach), bez konieczności odfłuszczenia prób [Tajner-Czopek i in. 2009b]. Systematycznie prowadzone są również badania nad wpływem różnych czynników na zawartość akrylamidu w produktach spożywczych, w tym szczegółowe oznaczenia dotyczące zawartości AA we frytkach produkowanych z różnych odmian ziemniaka,

przechowywanego w zróżnicowanych warunkach temperaturowych. Prowadzone są także badania dotyczące modyfikacji zabiegów technologicznych w poszczególnych etapach procesu otrzymywania frytek, które pozwolą na wyznaczenie optymalnych warunków umożliwiających zachowanie odpowiedniej barwy produktu, jego konsystencji oraz zawartości tłuszczu, wraz z ewentualną możliwością obniżenia ilości akrylamidu w gotowym produkcie.

Równoległe z pracami pozwalającymi na poznanie możliwości zmniejszenia zawartości AA we frytkach prowadzone są badania mające na celu znalezienie właściwej metody umożliwiającej obniżenie zawartości tłuszczu w gotowym produkcie. Polegały one na zastosowaniu zanurzania krajanki ziemniaczanej, po blanszowaniu, w roztworach pektyn lub też nowatorskiej metody przetrzymywania krajanki w roztworach preparatu enzymatycznego zawierającego poligalakturnazę (PG). Na uwagę zasługuje zastosowanie roztworów pektynolitycznego preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L do blanszowania krajanki ziemniaczanej, który istotnie obniżał zawartość tłuszczu we frytkach oraz wpływał na zmianę tekstury gotowego produktu [Lisińska i in. 2007].

W literaturze naukowej brak jest informacji na temat prowadzenia badań z zastosowaniem preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L w procesie otrzymywania frytek i jego wpływu na zawartość akrylamidu w usmażonym produkcie. Preparat ten stosowany jest w przemyśle owocowym do uzyskiwania zwiększonej wydajności soków z miazgi owoców bez negatywnego wpływu na jakość soku [Speiser 1996, Bagger-Jørgensen, Meyer 2004, Demir, Bahçeci 2004, Łazarowicz 2006, Nowak 2008]. Przy produkcji soków pitnych, klarowanych, pektyny utrudniają procesy klarowania i filtracji, dlatego stosowane są enzymy mające za zadanie degradację tego związku. Preparat Pectinex Ultra SP-L posiada aktywność pektolityczną [Lisińska i in. 2007], stąd też charakterystyczne działanie preparatu na znajdujące się w tkance pektyny.

Również w literaturze nie ma danych związanych z wpływem podsuszania krajanki ziemniaczanej metodą mikrofalowo-próżniową przed smażeniem na zawartość AA we frytkach.

Zastosowanie smażenia krajanki w oleju o niższej temperaturze i w krótszym czasie wpływa na obniżenie zawartości AA we frytkach, nadal jednak prowadzone są badania, które umożliwią wskazanie optymalnych warunków smażenia, gwarantujących uzyskanie frytek o oczekiwanej jakości i niskiej zawartości akrylamidu.

1.2. Właściwości frytek ziemniaczanych

Frytki ziemniaczane, zaliczane do grupy produktów przekąskowych z ziemniaka, cieszą się stale rosnącym zainteresowaniem ze strony konsumentów na całym świecie. Nazwą „frytki ziemniaczane” określa się półprodukt lub produkt gotowy, kierowany do handlu w stanie zamrożonym, przygotowany przez blanszowanie i smażenie w tłuszczu ziemniaków w postaci różnej grubości słupków, plasterków, półksiężyców lub całych bulw [Lisińska 2000, Lisińska i in. 2009]. Najbardziej typowym asortymentem są frytki definiowane jako usmażone w głębokim tłuszczu kawałki ziemniaka w kształcie słupków o przekroju 1 x 1 cm i długości powyżej 6 cm [Lisińska, Leszczyński 1989, Kita i in. 2009]. W Wielkiej Brytanii produkt ten określa się mianem „chips”, natomiast w Niemczech i Francji przyjęto nazwę „pommes frites”. Najpopularniejszym jednak określeniem występującym w większości krajów na świecie jest „French fries” [Lisińska, Leszczyński 1989, Gould 1999, Kita i in. 2009].

Prawidłowo wyprodukowane frytki powinny charakteryzować się odpowiednią jakością, która określana jest na podstawie wyróżników takich jak: barwa, smak i zapach, zawartość tłuszczu oraz tekstura [Talbert, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989, Tajner-Czopek 2000, Tajner-Czopek, Lisińska 2004, Kita i in. 2009, Lisińska i in. 2009]. Cechy te mają duży wpływ na tzw. „atrakcyjność” gotowego produktu. Konsumenci w pierwszej kolejności oceniają barwę, smak i zapach frytek, znaczną uwagę przywiązując do zawartości tłuszczu w produkcie i jego tekstury. Otrzymanie frytek o prawidłowych barwie, smaku i zapachu nie nastręcza większych trudności, dlatego obecnie zainteresowanie naukowców i producentów skupia się na sposobach uzyskania produktu o charakterystycznej teksturze i możliwie niskiej zawartości tłuszczu. W ostatnich latach badania prowadzone są także w kierunku zmniejszenia ilości powstającego podczas smażenia frytek kancerogenego akrylamidu, bez pogorszenia cech organoleptycznych gotowego produktu [Romani i in. 2008, Tajner-Czopek 2008a, Anese i in. 2009, Romani i in. 2009] .

Barwa jest jedną z cech, którą ocenia się w pierwszej kolejności, niezależnie od sposobu wytwarzania frytek ziemniaczanych; powinna ona być jasna, złota, bez brązowych przebarwień oraz czarnych plam i smug [Tajner-Czopek 2000, Lisińska 2006, Kita i in. 2009]. Barwa frytek jest związana z zawartością cukrów redukujących w ziemniakach oraz ich rozłożeniem na przekroju bulwy [Talbert, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989]. Nierównomierne rozłożenie cukrów w bulwie (wyższa ich zawartość w częściach wierzchołkowej i stolonowej) powoduje w otrzymanych frytkach efekt brunatnienia końcówek – tzw. „sugar end”. Efekt ten jest widoczny w gotowym produkcie jako rezultat reakcji Maillarda, zachodzącej pomiędzy cukrami redukującymi a wolnymi aminokwasami [Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 1975, Lisińska, Leszczyński 1989, Sowokinos i in. 2000, Lisińska i in. 2009]. Zachodząca podczas smażenia frytek reakcja Maillarda przyczynia się do powstawania nie tylko brązowej barwy, ale również gorzkiego smaku gotowego produktu [Lisińska, Leszczyński 1989, Whitfield 1992, Gould 1999].

Smak i zapach frytek, obok barwy, są wyróżnikami jakości ocenianymi w pierwszej kolejności. Smak powinien być swoisty, ziemniaczano-olejowy, bez posmaku goryczy, spalenizny lub zjełzalego tłuszczu [Talbert, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989, Lisińska, Plizga 1992, Gould 1999, Tajner-Czopek 2000].

Również zawartość tłuszczu jest ważnym wyróżnikiem jakości frytek i ich akceptacji ze strony konsumentów. Zbyt duża jego ilość w gotowym produkcie powoduje oleisty smak, a zbyt mała pozbawia frytki naturalnych, charakterystycznych dla nich smaku i zapachu [Lisińska, Leszczyński 1989, Gould 1999, Mellema 2003]. Zawartość tłuszczu we frytkach zależy zarówno od czynników surowcowych, jak np. skład chemiczny bulw oraz od czynników technologicznych. Spośród składników chemicznych głównie zawartość suchej masy oraz skrobi w bulwach ziemniaka wpływa na zawartość tłuszczu we frytkach, a wyższa ilość tych związków powoduje zmniejszenie chłonięcia tłuszczu przez gotowy produkt [Lisińska, Leszczyński 1989, Mellema 2003, Saguy, Dana 2003, Pedreschi 2009, Pedreschi, Zuñiga 2009]. Do czynników technologicznych kształtujących zawartość tłuszczu w produkcie smażonym z ziemniaka należą m.in. grubość krajanki, rodzaj i parametry blanszowania, podsuszania i smażenia oraz rodzaj oleju użytego do smażenia [Mellema 2003, Saguy, Dana 2003, Kita i in. 2007]. Dodatkowo na zawartość tłuszczu w produktach smażonych może mieć wpływ stopień degradacji tłuszczu smaźalniczego, jak również porowatość i „szorstkość” powierzchni smażonego produktu [Aguilera, Gloria-Hernández, 2000, Bouchon i in. 2003, Mellema 2003, Saguy, Dana 2003, Kita 2006].

Zawartość tłuszczu w produktach smażonych ma duże znaczenie, zarówno ze względów ekonomicznych dla producenta, jak i z punktu widzenia zdrowia konsumentów [Bouchon i in. 2003, Gawęcki 2004]. Produkowane przemysłowo frytki po I stopniu smażenia, wymagające przed spożyciem dosmażenia w gorącym oleju, powinny zawierać od 3 do 4,5% tłuszczu, natomiast frytki gotowe do spożycia (po podgrzaniu, bez dosmażenia) około 7%. Frytki podawane w barach i restauracjach zawierają od 7 do 18% tłuszczu, a sporządzone sposobem domowym (bez blanszowania i podsuszania) mogą zawierać nawet znacznie powyżej 20% tego składnika [Lisińska 2004].

Kolejną, istotną cechą jakości frytek jest ich tekstura [Tajner-Czopek 2003, Tajner-Czopek, Figiel 2003]. Tekstura frytek określana jest na podstawie chrupkości części zewnętrznej i mączystości wnętrza. Część zewnętrzna frytki powinna być chrupka i delikatna, bez tekstury twardej, gumowatej lub skórzastej. Natomiast jej wnętrze powinno się charakteryzować mączystością, bez odczucia wodnistości i kleistości oraz nie powinno oddzielać się od części zewnętrznej. Po przełamaniu frytki jej powierzchnia powinna być wyrównana i bez splekań [Talbur, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989]. Produkt o takiej teksturze można otrzymać tylko z nielicznych odmian ziemniaka o odpowiednich cechach fizycznych i składzie chemicznym [Jaswal 1991, Lisińska 2004, Tajner-Czopek, Lisińska 2004, Kita i in. 2009]. Na teksturę gotowego produktu może mieć wpływ nie tylko zawartość suchej masy i skrobi w bulwach, ale również cechy jakościowe skrobi, tj.: stosunek amylozy do amylopektyny i wielkość granelek skrobiowych [Talbur, Smith, 1987].

Zawartość i skład polisacharydów nieskrobiowych, a zwłaszcza substancji pektynowych w bulwach, odgrywa istotną rolę w kształtowaniu tekstury produktu smażonego z ziemniaka [Reeve 1977, Selvendran 1983, Fennema i in. 1996, Tajner-Czopek 2000, 2003, Gołubowska, Lisińska 2004, Gołubowska 2005, Lisińska, Gołubowska 2005]. Substancje pektynowe stanowiące składnik ściany komórkowej tkanki roślinnej odgrywają dużą rolę w kształtowaniu tekstury zarówno świeżych warzyw, jak i poddanych obróbce termicznej [Marle i in. 1994]. Z grupy związków pektynowych zawartych w tkance roślinnej frakcja protopektyny pełni najistotniejszą funkcję w blaszce środkowej – cementującą i usztywniającą, a także wykazuje szczególną zdolność do wiązania jonów wapnia [Selvendran 1983, Jaswal 1991, Andersson i in. 1994, Abglor, Scanlon 2000, Tajner-Czopek 2003, Gołubowska 2005], w związku z czym może stanowić czynnik teksturotwórczy produktów.

Na kształtowanie tekstury gotowego produktu mają wpływ takie cechy surowca jak jego skład chemiczny, struktura, lepkość oraz inne właściwości fizyczne [Bourne 2002, Szczesniak-Surmacka 2002, Tajner-Czopek 2003]. Konsumenty szczególnie cenią takie cechy tekstury jak: kruchość, chrupkość, delikatność, soczystość, jędrność, a nie akceptują m.in. łykowatości, rozmokłości, wodnistości, rozpadania się, grudkowatości i śluzowatości [Bourne 2002, Szczesniak-Surmacka 2002]. Do oceny tekstury żywności, w tym produktów smażonych z ziemniaka, np. frytek, stosowane są obecnie różne techniki pomiarowe, wśród których wyróżniane są metody sensoryczne (np. ilościowa Analiza Opisowa – QDA) oraz metody instrumentalne (obiektywne) przy użyciu urządzeń pomiarowych (typu Stevens lub Instron), umożliwiające przeprowadzenie różnych testów (np. testy przecinania, zginania czy TPA – Profilowa Analiza Tekstury) [Bourne 2002]. Pomiar tekstury frytek metodą obiektywną umożliwia wyznaczenie maksymalnej siły tnącej [F_{max}], potrzebnej do przecięcia próby. Wartość ta jest wskaźnikiem określającym twardość produktu [Bourne 2002, Tajner-Czopek, Figiel 2003]. Odczytane z wykresu urządzenia pomiarowego wartości maksymalnej siły tnącej [N] dobrze charakteryzują teksturę frytek, określając, który z produktów jest odpowiedni, a który zbyt twardy czy

zbyt miękki. Wartości pomiaru obiektywnego w połączeniu z oceną organoleptyczną ułatwiają ostateczną ocenę tekstury frytek [Tajner-Czopek, Figiel 2003].

Wymagania konsumentów dotyczące jakości sensorycznej frytek są wysokie i stale rosną. Tak więc uwaga zarówno naukowców, jak i producentów frytek skupiona jest na uzyskaniu produktu o jak najlepszej teksturze, wyrównanej jasnej barwie oraz możliwie niskiej zawartości tłuszczu. W trosce o zdrowie konsumentów prowadzone są szeroko zakrojone badania dotyczące możliwości zmniejszenia zawartości substancji antyżywniowych w produktach spożywczych. Dlatego też konieczne jest prowadzenie badań nad mało poznanym toksycznym akrylamidem, a zwłaszcza nad możliwością obniżenia jego zawartości w produktach smażonych z ziemniaka bez pogorszenia cech organoleptycznych gotowego produktu.

1.3. Akrylamid w produktach smażonych z ziemniaka

Wykrycie obecności akrylamidu (AA) w żywności otrzymanej z surowca węglowodanowego poddanego w procesie produkcyjnym działaniu wysokiej temperatury jest niezwykle ważnym „krokiem” w nauce o bezpieczeństwie zdrowotnym żywności. Akrylamid został zakwalifikowany przez Międzynarodową Agencję do Badań nad Rakiem (IARC) jako związek prawdopodobnie kancerogenny dla ludzi (zaliczony do grupy 2A), a spożycie żywności o podwyższonej ilości tego związku znacznie zwiększa ryzyko zachorowań na raka [IARC 1994]. Organizacja IARC wyznaczyła, poza wyżej wspomnianą grupą 2A, także inne grupy związków, uwzględniając ich potencjalne rakotwórcze działanie: grupa 1 – związek kancerogenny dla człowieka, grupa 2B – związek możliwe (ewentualnie) kancerogenny dla człowieka, grupa 3 – związek niesklasyfikowany jako kancerogenny dla człowieka, grupa 4 – związek prawdopodobnie niekancerogenny dla człowieka [IARC 1994].

Rozważania na temat akrylamidu przedstawiła Światowa Organizacja Zdrowia (WHO – World Health Organization) oraz Organizacja ds. Żywności i Rolnictwa (FAO – Food and Agriculture Organization) na międzynarodowym spotkaniu, które odbyło się w Genewie w czerwcu 2002 r. [FAO/WHO 2002]. Doniesienia szwedzkich naukowców dotyczące obecności akrylamidu w żywności węglowodanowej poddanej obróbce termicznej, substancji będącej potencjalnym zagrożeniem dla zdrowia ludzi, były przedstawione przez Scientific Committee Agencji w Brukseli 3 lipca 2002 r. [SCF 2002].

Akrylamid powstaje w żywności o dużej zawartości węglowodanów, która poddana jest działaniu wysokiej temperatury w procesach smażenia, pieczenia, prażenia, tostowania czy też grillowania [Rosén, Hellenäs 2002, SNFA 2002, Tareke i in. 2002, SCF 2002, Becalski i in. 2003, FAO/WHO 2008, FAO/WHO 2009]. Nie stwierdzono natomiast obecności akrylamidu w nieogrzewanej lub gotowanej żywności [SCF 2002, Rosén, Hellenäs, 2002, Grob i in. 2003, Claeys i in. 2005]. Między innymi, nie wykryto tego związku w gotowanych ziemniakach [Taeymans i in. 2004].

Akrylamid (AA) jest związkiem, który powstaje w produktach pod wpływem działania temperatury powyżej 120°C [Rosén, Hellenäs 2002, Tareke i in. 2002, SCF 2002, FAO/WHO 2008, FAO/WHO 2009]. Szczególnie dużo tego związku występuje w produktach smażonych z ziemniaka, we frytkach i chipsach [SCF 2002, Becalski i in. 2003, Jung i in. 2003, Grob i in. 2003, Friedman 2003, Grandá i in. 2004]. Zawartość AA we frytkach (w półprodukcie i produkcie gotowym) kształtuje się w różnym zakresie w zależności od czynników surowcowych,

technologicznych oraz zastosowanej metody oznaczania. W tabeli 2 przedstawiono zawartości AA we frytkach oraz dla porównania w czipsach, podawane przez różnych autorów.

Tabela 2
Table 2

Zawartość akrylamidu (AA) we frytkach i czipsach [$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$]
The acrylamide (AA) content in French fries and chips

Zakres zawartości akrylamidu [$\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$] The range of acrylamide content		Literatura References
Frytki – French fries	Czipsy – Potato chips	
<50–3 500	170–2 287	FAO/WHO [2002]
70–6 600	–	Biedermann i in. [2002b]
314–732	1 300–3 900	Tareke i in. [2002]
200–1 900	530–3 700	Becalski i in. [2003]
200–12 000	170–3 700	Friedman [2003]
355–436	59–2 336	Ölmez i in. [2008]
63–2 175	113–3 647	Mojska i in. [2008]
1 570–3 240	740–980	Bekas i in. [2009]

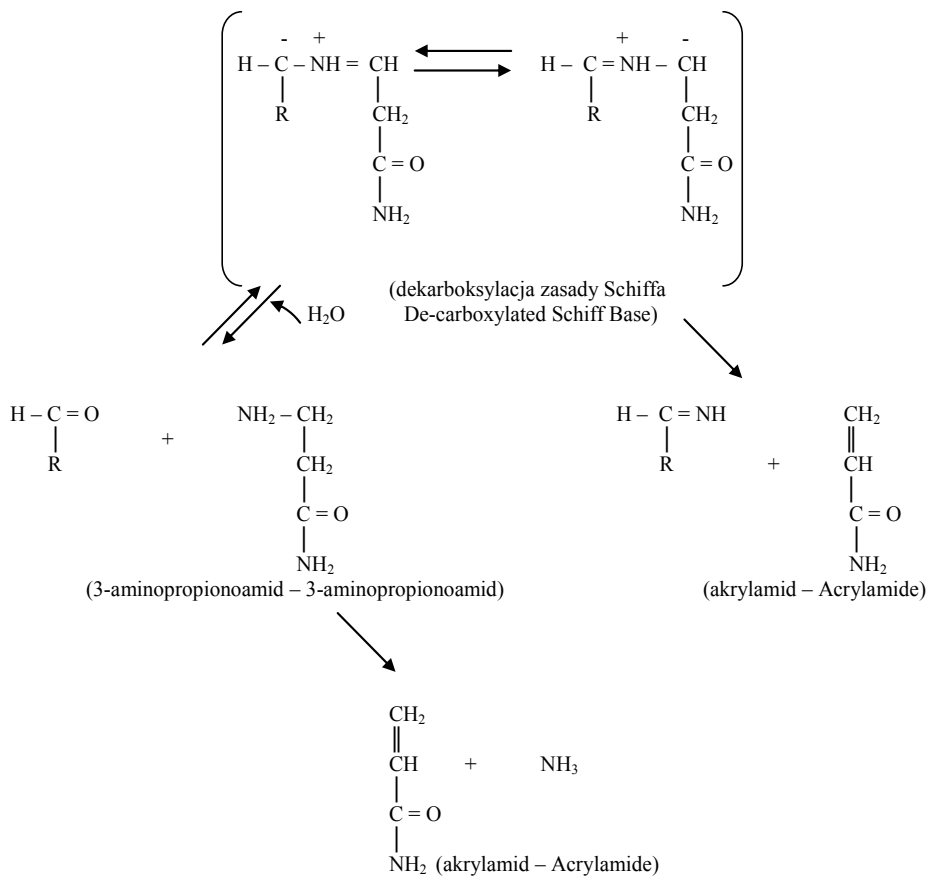
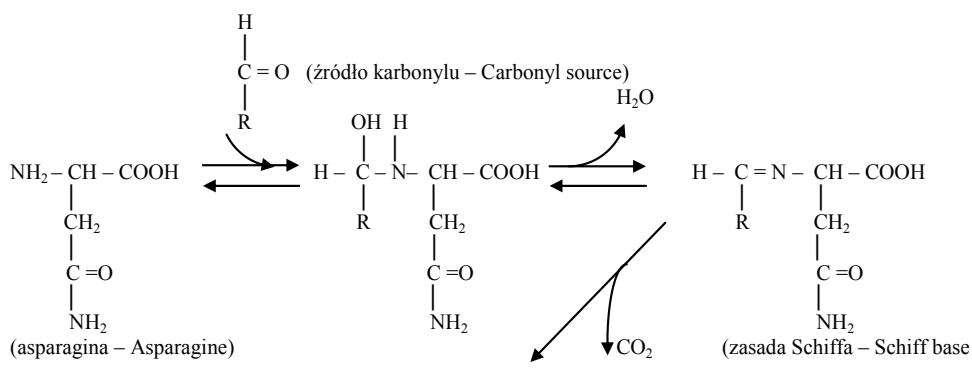
Wartości średnie spożycia akrylamidu przez człowieka z żywnością, według danych FAO/WHO [2002], kształtują się na poziomie 0,3–0,8 $\mu\text{g AA} \cdot \text{kg}^{-1}$ masy ciała. Natomiast autorzy tacy jak Konings i in. [2003], Dybing i in. [2005] oraz Matthys i in. [2005] na podstawie zestawienia wyników badań otrzymanych po przeanalizowaniu diety kilku populacji wyznaczyli średnią dawkę przyjęcia akrylamidu z pożywieniem przez osoby dorosłe, dzieci i młodzież. U osób dorosłych dawka ta wynosiła od 0,3 do 0,6 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ masy ciała/dzień, natomiast u dzieci i młodzieży 0,4–0,6 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ masy ciała/dzień. Wyższy zakres wartości stwierdzony u dzieci i młodzieży związany był ze spożyciem bardziej kalorycznych produktów, bogatych w akrylamid – czipsów i frytek [Dybing i in. 2005, Wilson i in. 2006]. Jak dotąd nie został ustalony limit dotyczący maksymalnego, dopuszczalnego poziomu akrylamidu w produktach żywnościowych, w tym również we frytkach [Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2007]. Limit tego związku w wodzie pitnej określony został znacznie wcześniej, bo już w 2002 r. i wynosi on 0,5 $\mu\text{gAA} \cdot \text{L}^{-1}$ [FAO/WHO 2002]. W rozważaniach na temat ewentualnej możliwości ograniczenia spożycia AA w produktach smażonych (w tym również z ziemniaka) musi być uwzględniony podstawowy system – tzw. ALARA (as low as reasonably or achievable = tak niskie spożycie, jak jest to tylko możliwe do osiągnięcia) [FAO/WHO 2002, JECFA 2005, Morales i in. 2008].

Mechanizm powstawania akrylamidu w żywności węglowodanowej poddanej działaniu wysokiej temperatury badało wielu naukowców z całego świata [Gertz, Klostermann 2002, Stadler i in. 2002, Weisshaar, Gutsche 2002, Friedman 2003, Vatter, Shetty 2003, Yaylayan i in. 2003, Zyzak i in. 2003, Yaylayan i in. 2004, Stadler i in. 2004, Granvogl i in. 2004, Amrein i in. 2006a]. Pierwsze doniesienia dotyczące formowania akrylamidu w produktach spożywczych sugerują, że związek ten powstaje w wyniku złożonej reakcji Maillarda, a głównymi związkami prowadzącymi do powstania akrylamidu są cukry redukujące (glukoza i fruktoza) oraz aminokwas – asparagina (Asp) [Becalski i in. 2002, Stadler i in. 2002, Weisshaar, Gutsche

2002, Biedermann-Brem i in. 2003, Yaylayan i in. 2003, Zyzak i in. 2003]. Następnie informacje na temat mechanizmu powstawania AA wzbogacono o udział w reakcji białek, peptydów oraz biogenicznych amin [Vattem, Shetty 2003, Granvogl i in. 2004, Buhlert i in. 2006, Claus i in. 2008]. Próba wyjaśnienia innej drogi powstawania akrylamidu w żywności poddanej obróbce termicznej opiera się na kilku hipotezach [Yaylayan i in. 2003, Zyzak i in. 2003]. Jedna z nich wskazuje na obecność akroleiny powstającej w wyniku oksydatywnej degradacji tłuszczu lub degradacji aminokwasów i białek, która tworzy kwas akrylowy – ten zaś może reagować z amoniakiem, tworząc akrylamid [Gertz, Klostermann 2002, Lingnert i in. 2002, Becalski i in. 2003]. Kolejna hipoteza głosi, że akrylamid powstaje bezpośrednio jako produkt reakcji innych związków zawierających azot (np. aminokwasu alaniny), z wyłączeniem wspomnianej wcześniej akroleiny [Becalski i in. 2004, Weisshaar 2004]. Najbardziej prawdopodobny wydaje się jednak mechanizm tworzenia akrylamidu związany z reakcją Maillarda [Mottram i in. 2002, Stadler i in. 2002, Yaylayan i in. 2003, Zyzak i in. 2003]. Mechanizm tworzenia akrylamidu zasugerowany przez Zyzak i in. [2003] przedstawiono na rysunku 1.

Przebieg reakcji tworzenia akrylamidu jest następujący. Grupa α -aminowa wolnej asparaginy reaguje z grupą karbonylową cukru, tworząc zasadę Schiffa. Zasada ta pod wpływem temperatury ulega dekarboksylacji, następnie może albo hydrolizować z wytworzeniem 3-aminopropionamidu [Granvogl i in. 2004], który następnie jest przekształcany do akrylamidu poprzez eliminację cząsteczki amoniaku, albo może dojść do bezpośredniego rozkładu produktu dekarboksylacji zasady Schiffa z wydzieleniem stosownej iminy i akrylamidu [Zyzak i in. 2003].

Ilość powstającego akrylamidu uzależniona jest w dużej mierze od ilości prekursorów, tj. cukrów redukujących oraz asparaginy w bulwach ziemniaka [Biedermann i in. 2002a, Amrein i in. 2003, Olsson i in. 2004, Hasse i in. 2004]. Oba reagenty pod wpływem działania wysokiej temperatury i niskiej dostępności wody tworzą akrylamid [Weisshaar, Gutsche 2002]. W produktach smażonych z ziemniaka czynnikiem wpływającym na ilość powstającego akrylamidu jest zawartość cukrów redukujących [Biedermann i in. 2002a, Amrein i in. 2003, Claeys i in. 2005, De Wilde i in. 2005, 2006a]. Zawartość cukrów redukujących (glukozy – Glu i fruktozy – Fru) w bulwach ziemniaka zawiera się w szerokich granicach i zależy nie tylko od odmiany ziemniaka, ale również od czynników uprawowych i przechowalniczych. Ilość glukozy może się wahać od 0,05 do 1,5%, natomiast fruktozy od 0,15 do 1,5% [Lisińska, Leszczyński 1989, Mozolewski 2003]. Glukoza i fruktoza mają istotny wpływ na tworzenie AA w gotowym produkcie [Amrein i in. 2003, Becalski i in. 2004], ale również, jak podają Robert i in. [2004], galaktoza może mieć wpływ na powstawanie tego związku. Asparagina jest drugim ważnym reagentem odpowiedzialnym za tworzenie AA. Jej zawartość w ziemniakach jest stosunkowo wysoka – 93,9 mg/100 g; asparagina stanowi aminokwas występujący w bulwie w największym stężeniu spośród pozostałych wolnych aminokwasów [Pałasiński 1972, Martin, Ames 2001, Fabien i in. 2004]. W produktach zbożowych, w przeciwieństwie do produktów ziemniaczanych, najważniejszym prekursorem tworzenia akrylamidu jest asparagina, a nie cukry redukujące [Claeys i in. 2005].



Rys. 1. Mechanizm powstawania akrylamidu w ogrzewanej żywności [Zyzak i in. 2003]
 Fig. 1. Mechanism of acrylamide formation in heated foods [Zyzak et al. 2003]

1.4. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka a ilość akrylamidu we frytkach

Zawartość akrylamidu w produktach z ziemniaka jest uzależniona od składu chemicznego surowca, w tym cukrów redukujących. W mniejszym stopniu zależy od zawartości wolnych aminokwasów, np. asparaginy [Claeys i in. 2005], których ilość zawsze jest wystarczająca do udziału w reakcji Maillarda zachodzącej podczas smażenia, pieczenia czy suszenia bulw.

Zawartość cukrów redukujących w ziemniakach zależy od wielu czynników. Decydującą rolę odgrywa odmiana ziemniaka, ale również warunki klimatyczne, uprawowe i przechowalnicze mogą w znacznym stopniu powodować wahania w zawartości glukozy i fruktozy w bulwach [Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 1999b, Głuska 2000, Frydecka-Mazurczyk, Zgórska 2000, Lisińska 2000, Zgórska i Frydecka-Mazurczyk 2000a, b, c, 2002a, b, Amrein i in. 2003, Mozolewski 2003, Zgórska 2004, Zgórska, Czerko 2006, Czerko, Zgórska 2008].

Ziemniaki przeznaczone do produkcji frytek powinny charakteryzować się ilością cukrów redukujących nie przekraczającą 0,3%, a nawet 0,25% [Zgórska, Frydecka 2002a, Lisińska 2006, Lutomińska 2008, Lisińska i in. 2009], aby uzyskany po usmażeniu ziemniaka produkt charakteryzował się odpowiednimi barwą i smakiem. Wybór właściwej odmiany ziemniaka do przerobu charakteryzującej się niską zawartością cukrów redukujących w bulwach jest istotnym czynnikiem limitującym ilość powstającego w czasie smażenia akrylamidu [Amrein i in. 2003, Claeys i in. 2005, Williams 2005, De Wilde i in. 2005, 2006a].

Warunki klimatyczne panujące w okresie wegetacji ziemniaka mają duży wpływ na kształtowanie zawartości cukrów redukujących w bulwach. Brak opadów w okresie zawiązywania bulw może niekorzystnie oddziaływać na skład chemiczny bulw ziemniaka, dlatego konieczne jest uzupełnienie wody w glebie poprzez nawadnianie plantacji [Głuska 2000]. Nawadnianie zastosowane we właściwym okresie wegetacji może zapobiec obniżeniu jakości ziemniaka, powodując wzrost ilości skrobi i zmniejszenie ilości cukrów redukujących [Leszczyński 1994]. Szczególnie niekorzystna jest niska temperatura powietrza i duża ilość opadów, w końcowym okresie wegetacji ziemniaków, gdyż w tych warunkach dochodzi do zwiększonej kumulacji cukrów redukujących w bulwie [Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 1982, Frydecka-Mazurczyk i Zgórska 2002, Putz 2004, Zgórska 2004, Kumar i in. 2004]. Zbiór ziemniaków z pola oraz ich transport do przechowalni przy temperaturze powietrza poniżej 8°C może spowodować zwiększenie zawartości cukrów redukujących w bulwie [Nowotny, Samotus 1965, Frydecka-Mazurczyk, Zgórska 2002]. Stres temperaturowo-wilgotnościowy prowadzi nie tylko do zmiany zawartości cukrów redukujących w bulwie, ale także do nierównomiernego rozłożenia cukrów w bulwach [Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 2002b]. Nierównomierne rozłożenie tych składników w bulwie ziemniaka może powodować wadę barwy produktu smażonego w postaci widocznych miejscowych przebarwień i smug [Gould 1999, Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 2002b].

Czynniki uprawowe obok odmiany ziemniaka i warunków środowiskowych mogą wpływać na kształtowanie zawartości cukrów redukujących w bulwie. Jednym z istotniejszych czynników uprawowych jest nawożenie ziemniaka azotem. Wielu autorów [Rogosińska i in. 1996, Putz 2004, De Wilde i in. 2006a, Jarych-Szyska 2006] podaje, że stosowanie nawożenia ziemniaka azotem w wyższych dawkach ma istotny wpływ na zwiększenie zawartości cukrów w bulwach zarówno po zbiorze, jak i podczas przechowywania. Wysokie dawki nawożenia azotem powodując wzrost zawartości cukrów redukujących w bulwach, zwiększają w efekcie

ilość AA w wyprodukowanych z tego surowca frytkach [De Wilde i in. 2006a]. Putz [2004] podaje, że wzrost zawartości cukrów redukujących w bulwach pod wpływem zastosowania w uprawie ziemniaka zwiększonej dawki nawożenia azotem jest rezultatem przedłużenia okresu wegetacji bulw. Autor ten uważa, że czynnik odmianowy decyduje w znacznie większym stopniu o ilości cukrów w bulwach niż zastosowane nawożenie azotem.

Wymienione wcześniej czynniki wpływają na zawartość cukrów redukujących w bulwie i w rezultacie na jakość produktów smażonych z ziemniaka [Mozolewski 2003], w tym na poziom akrylamidu we frytkach [De Wilde i in. 2005, 2006b, Mestdagh i in. 2009]. Zmiany zawartości cukrów redukujących w bulwach obserwowane są również w wyniku przechowywania ziemniaków. Optymalne warunki przechowywania powinny zapewniać ograniczenie strat powstających w wyniku transpiracji, oddychania, kiełkowania i rozwoju chorób, ale przede wszystkim zachować wymagane cechy jakości bulw, przewidziane w danym przemyśle [Nowotny 1972, Talburt, Smith 1987, Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 2003]. Procesy biochemiczne i fizjologiczne w bulwach najmniej intensywnie przebiegają w temperaturze 2–4°C; w tych warunkach następuje niekorzystne gromadzenie cukrów redukujących i sacharozy [Talburt, Smith 1987, Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 2000a, Zgórska 2005]. Proces tworzenia cukrów redukujących w bulwach podczas przechowywania w niskich temperaturach przebiega znacznie intensywniej, w porównaniu z przechowywaniem surowca w temperaturze 6–8°C lub 10°C [Samotus, Leja 1974, Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 1999b, Frydecka-Mazurczyk, Zgórska 2000, Sowokinos 2001, Gąsiorowska, Makarewicz 2004], a intensywność gromadzenia cukrów w czasie przechowywania jest uzależniona w dużym stopniu od odmiany ziemniaka [Mozolewski 2000a, b, 2003]. Wysoką zawartość cukrów redukujących można obniżyć, stosując zabieg rekondycjonowania, tzn. przechowywania w podwyższonej temperaturze – około 15–20°C przez okres od 7 do 14 dni. Podwyższenie temperatury przywraca stan fizjologiczny błon i prowadzi do ponownej syntezy skrobi z cukrów [Samotus, Leja 1974, Sowokinos 2001]. Jednak nie we wszystkich odmianach zawartość cukrów obniża się podczas tego zabiegu do wymaganego poziomu [De Wilde i in. 2005], gdyż obniżenie ilości cukrów redukujących w bulwach po rekondycjonowaniu do oczekiwanego poziomu jest cechą odmianową [Talburt, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989, Putz 2004].

Od wielu lat naukowcy starają się wyhodować takie odmiany ziemniaka, które nawet w niskiej temperaturze przechowywania (4°C) i bez rekondycjonowania charakteryzują się niską i stabilną zawartością cukrów redukujących w bulwie („cold storage varieties”) [Sowokinos 2001, Edwards 2002, Putz 2004]. Grudzińska [2007] podaje, że do odmian typu „cold storage” można zaliczyć ziemniaki wczesnej, polskiej odmiany „Gracja”, które charakteryzowały się niską zawartością cukrów redukujących (około 0,1%) podczas przechowywania ziemniaków w temperaturze zarówno w 8°C, jak i 4°C przez okres 3, a nawet 7 miesięcy oraz wczesnej odmiany holenderskiej „Innovator”. Pozostałe badane przez autorkę odmiany ziemniaków, nienależące do grupy „cold storage”, musiały być przechowywane w następujących warunkach temperaturowo-wilgotnościowych – temperatura: 6–8°C i wilgotność: 90–95%, ażeby nie kumulowały cukrów redukujących w bulwach.

Podwyższona zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka wpływa na zintensyfikowanie przebiegu reakcji Maillarda, a tym samym podwyższenie ilości AA w gotowym produkcie [Biedermann i in. 2002b, Noti i in. 2003, De Wilde i in. 2005, 2006b], dlatego niezmiernie ważny jest dobór odpowiedniej odmiany ziemniaka do przerobu, a także uwzględnienie czynników środowiskowych, uprawowych i warunków przechowywania.

1.5. Proces technologiczny a zawartość akrylamidu we frytkach

Gotowy produkt otrzymany po usmażeniu ziemniaka powinien charakteryzować się nie tylko odpowiednimi cechami sensorycznymi, ale także niskim poziomem AA – w związku z tym należy przede wszystkim kierować do przerobu odmiany, których bulwy zawierają niską ilość cukrów redukujących, a następnie poddać je właściwemu przetworzeniu. Proces otrzymywania frytek jest prowadzony z zastosowaniem różnych warunków technologicznych, dostosowanych do rodzaju przerabianego surowca, tak żeby uzyskać gotowy produkt o jak najlepszych cechach organoleptycznych. Przy ustalaniu warunków (temperatury i czasu trwania procesu) należy jednak uwzględnić również zmniejszenie ilości powstającego akrylamidu.

Do podstawowych etapów technologicznych produkcji frytek zaliczane są: blanszowanie, podsuszanie, podsmażanie i smażenie [Lisińska, Leszczyński 1989, Abglor, Scalon 2000, Keijbets, Aviko 2001]. Są to procesy termiczne, które mogą mieć wpływ na ilość wytworzonego AA w gotowym produkcie [Friedman 2003, Zyzak i in. 2003, Pedreschi i in. 2006, 2007].

Proces blanszowania, można modyfikować poprzez zmianę temperatury i czasu trwania procesu [Pedreschi i in. 2007, Mestdagh i in. 2008] oraz dodanie różnych substancji (np. CaCl_2 , MgCl_2) do roztworu blanszującego [Jaswal 1991, Tajner-Czopek 2003, Gökmen, Şenyuva 2007]. Odpowiedni dobór temperatury i czasu blanszowania w wodzie pozwala na uzyskanie frytek o dobrej jakości, a także poprawia cechy organoleptyczne produktu sporządzonego z surowca o składzie chemicznym odbiegającym od normy [Lisińska, Leszczyński 1989, Lisińska, Plizga 1992, Gould 1999]. Proces blanszowania frytek ma na celu nie tylko wstrzymanie procesów enzymatycznych i mikrobiologicznych oraz ujednoczenie barwy gotowego produktu, ale także powierzchniowe kleikowanie skrobi, przez co zmniejsza się absorpcja tłuszczu w czasie smażenia słupków, skraca czas smażenia i poprawia konsystencja gotowego produktu [Andersson i in. 1994, Lisińska 2000, Haase i in. 2003, van Loon 2007]. Podstawową zaletą blanszowania jest również ekstrakcja z powierzchni surowych frytek cukrów redukujących i asparaginy przed ich smażeniem [Pedreschi i in. 2006, 2007, Mestdagh i in. 2008, Brunton i in. 2009, Dzwolak 2009].

W praktyce przemysłowej stosowane jest blanszowanie frytek w wodzie o różnej temperaturze i w różnym czasie, w układzie jednego lub dwóch blanszowników. Czas procesu jest uzależniony od odmiany ziemniaka, jego składu chemicznego i rozmiaru frytek. Blanszowanie trwa zazwyczaj od 2 do 12 minut, a jego temperatura waha się w granicach od 60 do 85°C [Talbur, Smith 1987, Lisińska, Leszczyński 1989, Pęksa 2008]. W doświadczeniach laboratoryjnych różni autorzy stosowali bardziej zróżnicowane zakresy temperatury (od 50 do 90°C) i czasy (2–25 min) blanszowania frytek, w zależności od użytej odmiany ziemniaka i zawartości cukrów [Lisińska, Plizga 1992, Tajner-Czopek 2003, Tajner-Czopek, Lisińska 2004, Liu, Scalon 2007, Pedreschi i in. 2007]. W procesie produkcyjnym krajanka ziemniaczana jest zanurzana w sposób ciągły w wodzie, do której systematycznie wypłukiwane są z niej przede wszystkim cukry redukujące. W ten sposób zwiększające się stężenie cukru w blanszowniku może wstrzymać dalsze wypłukiwanie cukrów z frytek, konieczna jest więc stała kontrola wody blanszującej [Arroqui i in. 2001, 2002]. W niektórych zakładach w linii technologicznej jest dołączany trzeci blanszownik, do którego dodawana jest glukoza w celu wyrównania oraz ujednoczenia barwy gotowego produktu [Lisińska, Leszczyński 1989, Pedreschi 2008, Pęksa 2008]. Ponieważ obecność cukru redukującego zdecydowanie zwiększa ilość AA powstającego w usmażonych produktach ziemniaczanych [Biederman i in. 2002a, Becalski i in. 2003,

Hasse i in. 2003, Taeymans i in. 2004], dlatego Komisja FAO/WHO [2009] wyraźnie zaleciła wyeliminowanie glukozy z procesu produkcyjnego otrzymywania frytek i czipsów.

Zastosowanie przez różnych autorów do blanszowania frytek roztworów soli Na^+ , Ca^{++} i Mg^{++} powodowało obniżenie zawartości akrylamidu w gotowych produktach. Użyty do blanszowania roztwór chlorku wapnia i sodu zmniejszył ilość toksycznego związku we frytkach odpowiednio o 95% i 57% w porównaniu z próbą kontrolną [Gökmen, Şenyuva 2007]. Natomiast zastosowanie tych roztworów do blanszowania czipsów obniżyło ilość AA w gotowym produkcie o około 85% [Ou i in. 2008] lub nawet o 90% [Pedreschi i in. 2007] bez pogorszenia jego barwy i konsystencji.

Ilość powstającego w gotowym produkcie akrylamidu jest w dużym stopniu uzależniona od pH roztworu blanszującego. Zawartość tego związku obniża się wraz z obniżaniem się pH roztworu [Weisshaar, Gutsche 2002, Rydberg i in. 2003]. W środowisku kwaśnym reakcja formowania akrylamidu zostaje zablokowana w wyniku przemiany wolnych grup aminowych ($-\text{NH}_2$) do grup ($-\text{NH}_3^+$), które hamują powstawanie zasady Schiffa i w rezultacie toksycznego związku w gotowym produkcie [Jung i in. 2003]. Do obniżenia pH roztworów blanszujących autorzy użyli kwasów: cytrynowego [Jung i in. 2003, Gamma-Baumgartner i in. 2004, Pedreschi i in. 2006, 2007, Pedreschi i Zuñiga 2009] i octowego [Kita i in. 2006] oraz roztworu pirofosforanu sodu [Pedreschi, in. 2006, 2007]. Blanszowanie w roztworze kwasu cytrynowego bardziej obniżało ilość AA we frytkach niż w roztworze pirofosforanu sodu, a jego efektywność zwiększała się wraz z obniżeniem temperatury smażenia ze 190 do 150°C [Pedreschi i in. 2007]. Jung i in. [2003] podają, że obniżenie pH roztworu z 7 do 4 obniżyło średnio zawartość akrylamidu o 96%, przy uwzględnieniu niższej temperatury smażenia prób. Dobór właściwego stężenia kwasu użytego do blanszowania nie tylko obniża ilość AA w gotowym produkcie, ale także zapewnia właściwą jego barwę i smak [Jung i in. 2003, Pedreschi i in. 2006, 2007].

Obniżenie pH środowiska do 4,05 uzyskano po przeprowadzeniu fermentacji mlekowej, która zmniejszyła nie tylko ilość cukrów redukujących, ale również aminokwasów (alanina, arginina, fenyloalanina, seryna) w słupekach ziemniaka, a tym samym ilość AA we frytkach [Baardseth i in. 2006]. Badania Anese i in. [2009] wykazały, że poddanie kawałków ziemniaka fermentacji (w obecności *Lactobacillus plantarum*) z zastosowaniem dodatku glicyny obniżyło pH roztworu, w którym znajdowały się próby oraz zmniejszyło ilość cukrów redukujących na powierzchni ziemniaka. W rezultacie usmażony produkt charakteryzował się niższą o około 70% ilością akrylamidu (w porównaniu do prób moczonych w wodzie) oraz odpowiednią: barwą, zapachem, smakiem i teksturą.

Przeprowadzono również badania nad obniżeniem ilości asparaginy z zastosowaniem enzymu asparaginazy (E.C. 3.5.1.1 – otrzymanej z *Aspergillus oryzae*) [Kuilman, Wilms 2007, Pedreschi i in. 2008]. Asparaginaza katalizuje hydrolizę asparaginy do kwasu asparaginowego i amoniaku, w rezultacie czego eliminuje jeden z głównych prekursorów tworzenia toksycznego związku. Zastosowanie tego enzymu przyczyniło się do zmniejszenia ilości akrylamidu (w wyniku przemiany asparaginy do kwasu asparaginowego) o około 90% w gotowym produkcie, bez pogorszenia smaku produktu [Vang Hendriksen i in. 2006]. Inni autorzy uzyskali tą metodą obniżenie zawartości AA w usmażonym ziemniaku o około 60% [Pedreschi i in. 2008] lub od około 50 do 97%, w zależności od stężenia enzymu i temperatury inkubacji [Ciesarová i in. 2006]. Zastosowanie asparaginazy jest obiecujące i istotnie obniża poziom AA w gotowym produkcie, jednak zastosowanie go na szeroką skalę nie jest możliwe ze względów ekonomicznych [Kuilman, Wilms 2007].

Badania dotyczące wprowadzenia do modelowego roztworu blanszującego dodatku glicyny, lizyny i cysteiny wskazują na obniżenie ilości AA w produkcie, odpowiednio o 95, 91 i 87% [Kim i in. 2005]. Istotne obniżenie poziomu tego toksycznego związku uzyskano również w modelowym doświadczeniu, przy zastosowaniu mieszaniny kwasu cytrynowego, glicyny i zhydrolizowanych białek soi [Cook, Taylor 2005, Low i in. 2006].

Zastosowanie moczenia ziemniaka po blanszowaniu w roztworze z dodatkiem antyoksydantów z liści bambusa obniżyło ilość AA o około 75% zarówno we frytkach (stężenie antyoksydantów 0,1%), jak i w czipsach (stężenie 0,01%). Zastosowanie równocześnie antyoksydantów z liści bambusa (AOB) oraz ekstraktu z zielonej herbaty (EGT) miało wpływ na obniżenie pH roztworu, w którym moczono próby do osiągnięcia pH o wartości 6,8 oraz na zmniejszenie ilości akrylamidu w gotowym produkcie o około 74% [Zhang i in. 2007]. Dodatek rozmarynu zarówno do oleju z oliwek, jak i do oleju kukurydzianego, w których smażyono próby obniżył ilość AA w gotowym produkcie o około 25% [Becalski i in. 2003], a dodatek flawonoidów w mieszance przypraw zmniejszył zawartość tego związku nawet o około 50% [Fernández i in. 2003].

Kolejnym termicznym etapem technologicznym przemysłowej produkcji frytek jest podsuszanie. Proces ten prowadzony jest w celu usunięcia nadmiaru wody z powierzchni frytek przed ich smażeniem o około 1–3% [Pęksa 2008]. Zaletą procesu podsuszania jest uzyskanie prawidłowej barwy gotowego produktu, zmniejszenie udziału frytek wiotkich i miękkich po pierwszym stopniu smażenia przed mrożeniem oraz otrzymanie produktu finalnego, który dłużej zachowuje chrupką powierzchnię.

Dodatkowo, niższa zawartość wilgoci w krajance umożliwia krótsze smażenie i w rezultacie zmniejszenie chłonności tłuszczu w gotowym produkcie [Lisińska, Leszczyński 1989, Abglor, Scalon 2000, Tajner-Czopek i in. 2007a, b, Tajner-Czopek i in. 2008b]. Podsuszanie krajanki zmniejsza tempo procesów hydrolytycznych w tłuszczu smaźalniczym oraz wpływa korzystnie na teksturę gotowego produktu [Van Loon i in. 2007, Kita i in. 2007, Tajner-Czopek i in. 2007a, b; Tajner-Czopek i in. 2008b]. Wielu autorów wyjaśnia mechanizm chłonięcia tłuszczu przez smażony produkt [Gupta i in. 2000, Krokida i in. 2000, Vitrac i in. 2000, Mel-lema 2003, Krokida i in. 2001b, e, van Loon i in. 2007].

Procesy podsuszania i suszenia, które stosowane są w zakładach przetwórstwa spożywczego, mogą być prowadzone metodami konwekcyjną, mikrofalowo-próżniową (przy użyciu różnych mocy magnetronów) lub łączącą dwie wspomniane metody. Istnieje również możliwość zastosowania w procesie otrzymywania frytek, podsuszania mikrofalowo-próżniowego, przy użyciu różnych mocy magnetronów [Tajner-Czopek i wsp., 2007b]. Suszenie mikrofalowo-próżniowe umożliwia ogrzewanie materiału w całej jego masie, co zdecydowanie przewyższa możliwości technik tradycyjnych (np. metoda konwekcyjna) [Jones 1992], a gotowy produkt charakteryzuje się lepszymi cechami organoleptycznymi w porównaniu do podsuszanego tradycyjną metodą [Drouzas, Schubert 1996, Maskan 2000, Tajner-Czopek i in. 2007a, b]. Podsuszanie metodą mikrofalowo-próżniową, pomimo wysokich kosztów eksploatacyjnych, powinno być zastosowane na skalę przemysłową, ponieważ w znaczny sposób poprawia cechy organoleptyczne gotowego produktu [Krokida i in. 2001a, Wang i in. 2004], jak również podsuszanie mikrofalowo-próżniowe, które korzystnie wpływa na jakość frytek [Tajner-Czopek i in., 2007b].

W zakładach produkcyjnych po podsuszeniu frytki poddawane są smażeniu. W procesie tym uzyskuje się frytki jako półprodukt (po I stopniu smażenia) lub jako produkt gotowy (po II stopniu smażenia). Do smażenia frytek obecnie najczęściej stosowane są temperatury

oleju wynoszące 175–180°C [Lisińska i in. 2007, Tajner-Czopek i in. 2008a, Kita i in. 2009]. Po smażeniu produkt jest mrożony, pakowany i przekazany do dystrybucji. Późniejsze dosmażanie (lub podgrzewanie) ma miejsce w barach szybkiej obsługi, w restauracjach lub w domu, bezpośrednio przed konsumpcją. Frytki uzyskane po pierwszym stopniu smażenia (półprodukt) charakteryzują się kilkukrotnie niższą zawartością tłuszczu, w porównaniu z gotowym produktem (10–20%) [Aguilera, Gloria-Hernández 2000, Lisińska i in. 2007, 2009, Pedreschi i in. 2007, Tajner-Czopek i in. 2007a, b, Kita i in. 2009] oraz istotnie niższą zawartością AA [Taeymans i in. 2004, Tajner-Czopek i in. 2008a, Pedreschi, Zuñiga 2009].

Ilość tłuszczu we frytkach jest uzależniona od składu chemicznego surowca [Lisińska, Leszczyński 1989], stosowanych zabiegów technologicznych w procesie blanszowania i poduszania oraz temperatury i czasu smażenia [Lamberg i in. 1990, Mellema, 2003, Kita i in. 2007, Tajner-Czopek i in. 2007a], jak również od rodzaju oleju użytego do smażenia [Mellema 2003, Saguy, Dana 2003, Kita i in. 2005, 2007] oraz stopnia uszkodzenia, spękania i porowatości powierzchni smażonego produktu [Krokida i in. 2000, Bouchon i in. 2003, Mellema 2003, Saguy, Dana 2003].

Na zawartość akrylamidu w produkcie smażonym z ziemniaka ma wpływ kilka czynników technologicznych. Zaliczane do nich są między innymi: opisywane przez wielu autorów czas i temperatura smażenia [Takere i in. 2002, Mottram i in. 2002, Becalski i in. 2003, Friedman 2003, Grob i in. 2003, Rydberg i in. 2003, Matthäus i in. 2004, Taeymans i in. 2004, Fiselier i in. 2006, Gökmen i in. 2006, Palazoğlu i Gökmen 2008a, b, Romani i in. 2008, Tajner-Czopek i in. 2008a], a także rodzaj użytego w procesie oleju [Mathäus i in. 2004, Mestdagh i in. 2005, Tajner-Czopek i in. 2009a] oraz typ użytego smażalnika [Granda i in. 2004, Erdoğan i in. 2007, Yuan i in. 2007]. Dodatkowo na zawartość tworzącego się w gotowym produkcie akrylamidu mają wpływ jeszcze stopień degradacji oleju [Mestdagh i in. 2007], procentowy stosunek ilości użytego oleju do ilości smażonych prób [Grob i in. 2003, Taubert i in. 2004, Grob 2007] oraz rozmiar frytek [Mathäus i in. 2004, Taubert i in. 2004]. Zasadniczy problem dotyczący zabiegów mających na celu obniżenie ilości akrylamidu w żywności związany jest z tym, że związek ten powstaje w wyniku przebiegu tych samych reakcji (Maillarda), co związki odpowiedzialne za kształtowanie przyjemnego i pożądanego smaku, zapachu i barwy [Amrein i in. 2006b, Pedreschi, Zuñiga 2009, Romani i in. 2009].

Zawartość AA w gotowym produkcie podawana przez różnych autorów często znacznie się różni. Jest to wynikiem nie tylko różnego składu chemicznego surowca użytego w badaniach czy różnych warunków procesu technologicznego, ale także od zastosowanej metody oznaczania tego związku. Do oznaczania AA w żywności są stosowane głównie dwie metody chromatograficzne: gazowa (GC) i cieczowa (HPLC), przeprowadzane z derywatyzacją (bromowaniem) akrylamidu do związku 2,4 dibromopropionoamidu lub bez derywatywacji. Detekcja akrylamidu przeprowadzana jest przy użyciu spektrometrii masowej (MS) lub w systemie tandemowym (MS/MS). Systemy analityczne złożone są w zestawach GC/MS, HPLC/MS, HPLC/MS/MS [Rosén, Hellenäs 2002, Hoenicke i in. 2004, Gökmen i in. 2005, Zhang i in. 2005, Bekas i in. 2006, Mojska i in. 2006, Eerola i in. 2007, Tajner-Czopek i in. 2009b].

2. GENEZA I CEL PRACY

Na podstawie powyższego przeglądu piśmiennictwa można stwierdzić, że badania dotyczące obecności akrylamidu w ogrzewanej żywności były prowadzone szczególnie intensywnie dopiero od 2002 r., kiedy to szwedzcy naukowcy ogłosili wyniki analiz dotyczące tego związku [Rosèn, Hellenäs 2002, Takere i in. 2002]. Ze względu na stwierdzoną szkodliwość AA dla człowieka (po spożyciu go z żywnością) podjęto badania w wielu ośrodkach naukowych nad poznaniem mechanizmu powstawania akrylamidu, metodą jego oznaczania oraz możliwością wyeliminowania lub obniżania zawartości AA w gotowym produkcie. Stwierdzona, niepokojąco wysoka, zawartość akrylamidu we frytkach oraz rosnące spożycie przygotowanych w ten sposób ziemniaków wymagają intensywnych badań naukowych zmierzających do obniżenia zawartości AA w gotowym produkcie. Uwzględnienie czynników surowcowych i technologicznych w czasie sporządzania frytek może prowadzić do obniżenia ilości AA. Muszą być jednak prowadzone nadal badania zmierzające do znalezienia sposobu, który umożliwi skuteczne wyeliminowanie lub zmniejszenie zawartości akrylamidu powstającego w smażonych ziemniakach bez pogorszenia jakości gotowego produktu.

Uzyskane w badaniach wyniki będą wskazówką do wprowadzenia pewnych zmian w procesie produkcyjnym otrzymywania frytek, które pozwolą zarówno na obniżenie zawartości akrylamidu we frytkach, jak i na uzyskanie gotowego produktu charakteryzującego się odpowiednimi barwą, teksturą i zawartością tłuszczu.

Celem pracy było ustalenie wpływu rodzaju surowca i zastosowanych zabiegów technologicznych w procesie otrzymywania frytek na ich barwę, teksturę oraz zawartość tłuszczu i akrylamidu.

Realizacja tego celu obejmowała poznanie wpływu na wybrane cechy jakości frytek następujących czynników:

- zawartości cukrów redukujących w ziemniakach na ilość utworzonego akrylamidu we frytkach,
- temperatury i czasu blanszowania krajanki ziemniaczanej w wodzie,
- efektu blanszowania krajanki ziemniaczanej w roztworach pektyn o różnym stężeniu,
- działania preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L w czasie blanszowania krajanki ziemniaczanej,
- metody podsuszania krajanki ziemniaczanej,
- temperatury i czasu smażenia.

3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

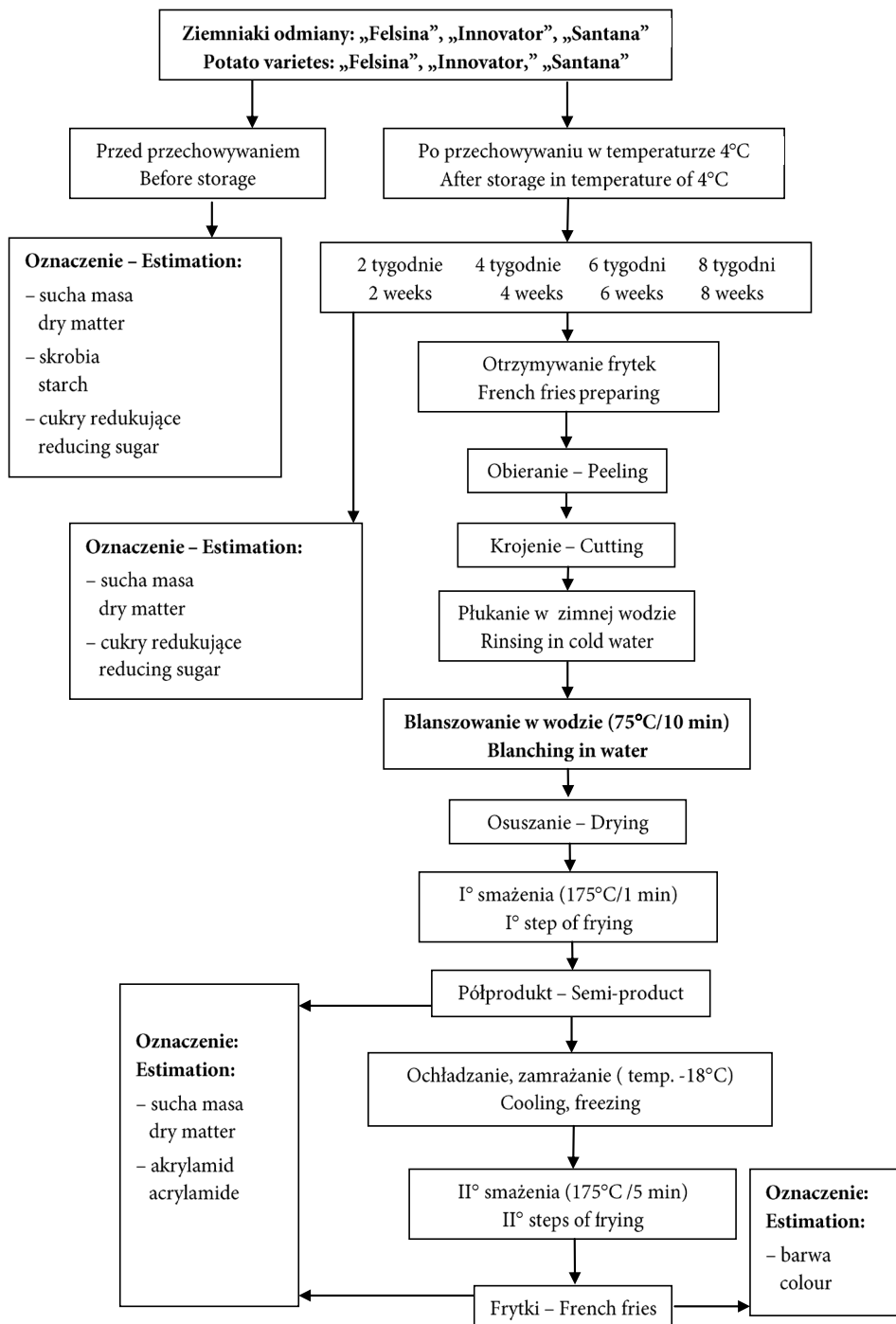
3.1. Materiał badawczy

Materiałem użytym do badań były bulwy ziemniaka trzech wczesnych odmian (odpowiednich do sporządzenia frytek), dostarczonych z przechowalni Zakładu Produkcyjnego McCain w Chociwelu k. Strzelina z sezonu wegetacyjnego 2006–2009. Do analiz pobrano, w zależności od zaplanowanego układu doświadczenia, jedną, dwie lub trzy z badanych odmian ziemniaka („Felsina”, „Innovator”, „Santana”). Z analizowanych ziemniaków jedynie odmiana „Innovator” należy do typu „cold storage varieties”.

3.2. Przebieg badań

3.2.1. Wpływ zawartości cukrów redukujących w ziemniakach na barwę frytek i ilość utworzonego akrylamidu

Do badań użyto ziemniaków trzech odmian, które podczas przechowywania poddano działaniu temperatury 4°C (277,15 K) w celu uzyskania materiału badawczego o zróżnicowanej zawartości cukrów redukujących. Próby do badań pobierano po 2, 4, 6 i 8 tygodniach przechowywania. Przed przechowywaniem oznaczano w ziemniakach zawartość suchej masy, skrobi i cukrów redukujących, a w kolejnych tygodniach przechowywania oznaczano zawartość suchej masy i cukrów redukujących. W półprodukcie (frytki po I stopniu smażenia) i w gotowych frytkach (frytki po II stopniu smażenia) oznaczono zawartość suchej masy i akrylamidu. W gotowych do spożycia frytkach określono ponadto barwę metodą obiektywną. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 2. The scheme of investigation and analysis

Sposób sporządzania frytek

Frytki sporządzono, stosując metodę dwustopniowego smażenia w oleju rzepakowym. Bulwy ziemniaków po umyciu i obraniu pokrojono przy użyciu ręcznej krawalnicy na słupki o grubości 1 x 1 cm i długości około 6–7 cm. Po wypłukaniu w zimnej wodzie krawankę ziemniaczaną blanszowano przez zanurzenie w wodzie o temperaturze 75°C (348,15 K) przez 10 minut. W celu usunięcia nadmiaru wody próby osuszano na bibule, a następnie podsmażano w oleju rzepakowym o temperaturze 175°C (448,15 K) przez 1 minutę (I stopień smażenia). Podsmażone i osączone z nadmiaru tłuszczu frytki podzielono na dwie części: jedną przeznaczając do bezpośrednich analiz, a drugą po ochłodzeniu i zamrożeniu przechowywano w temperaturze -18°C (255,15 K) do czasu rozpoczęcia kolejnej części badań. Po przechowywaniu zamrożone frytki dosmażano w oleju o temperaturze 175°C (448,15 K) przez 5 minut. Osączone z nadmiaru tłuszczu frytki stanowiły materiał do dalszych analiz. Próbę kontrolną stanowiły frytki przed przechowywaniem.

3.2.2. Wpływ temperatury i czasu blanszowania krawanki ziemniaczanej w wodzie na jakość frytek

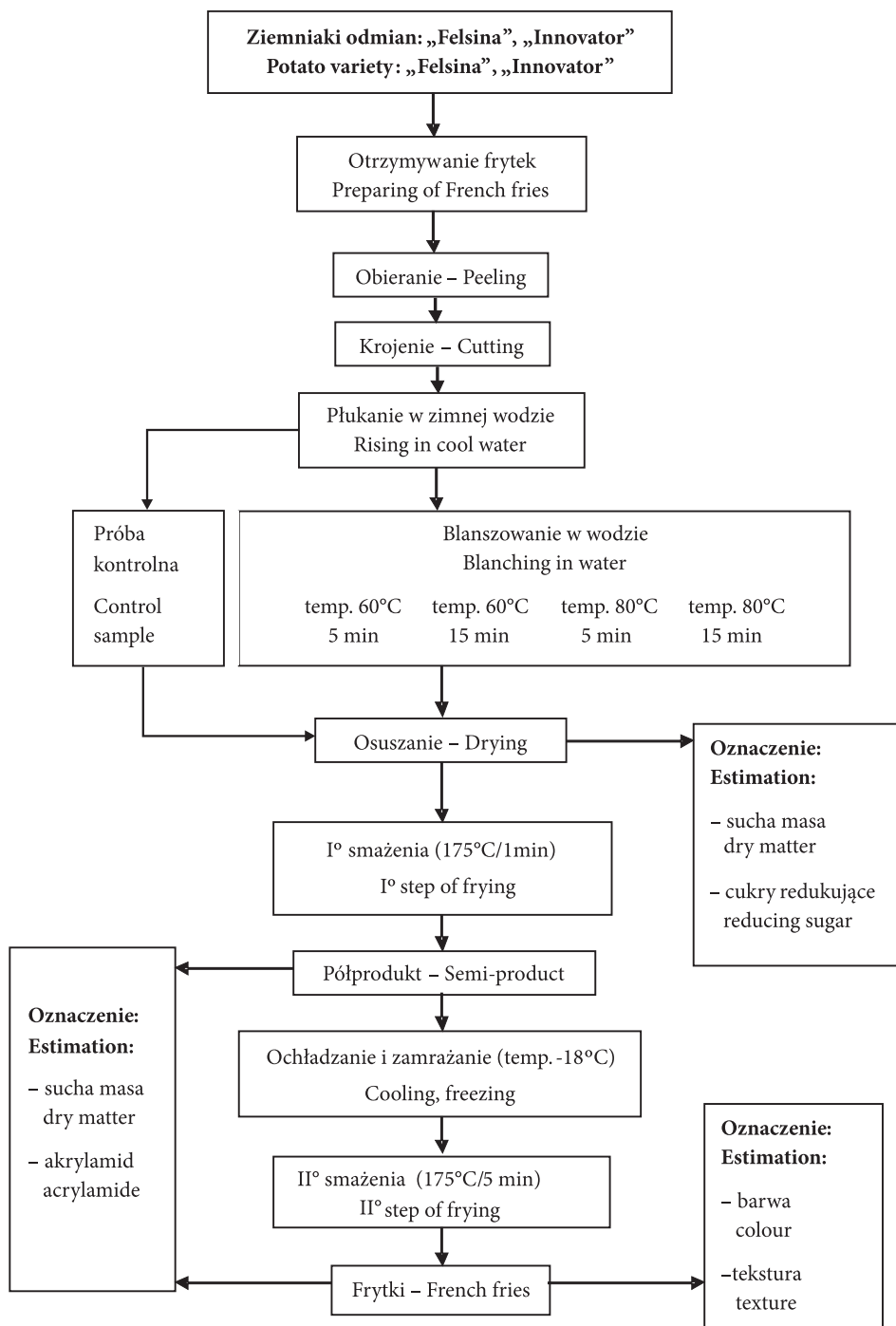
Do badań użyto ziemniaków dwóch odmian: „Felsina” i „Innovator”, z których sporządzono frytki, stosując blanszowanie w wodzie o zróżnicowanej temperaturze: 60°C (333,15 K) i 80°C (353,15 K) przez 5 i 15 minut. Próbę kontrolną stanowiły frytki bez blanszowania.

W krawance próby kontrolnej i po blanszowaniu oznaczano zawartość suchej masy i cukrów redukujących. W półprodukcie (frytki po I stopniu smażenia) i w gotowych frytkach oznaczono zawartość suchej masy i akrylamidu. We frytkach gotowych do spożycia oznaczono ponadto barwę i teksturę metodą instrumentalną. Schemat przebiegu analiz przedstawiono na rysunku 3.

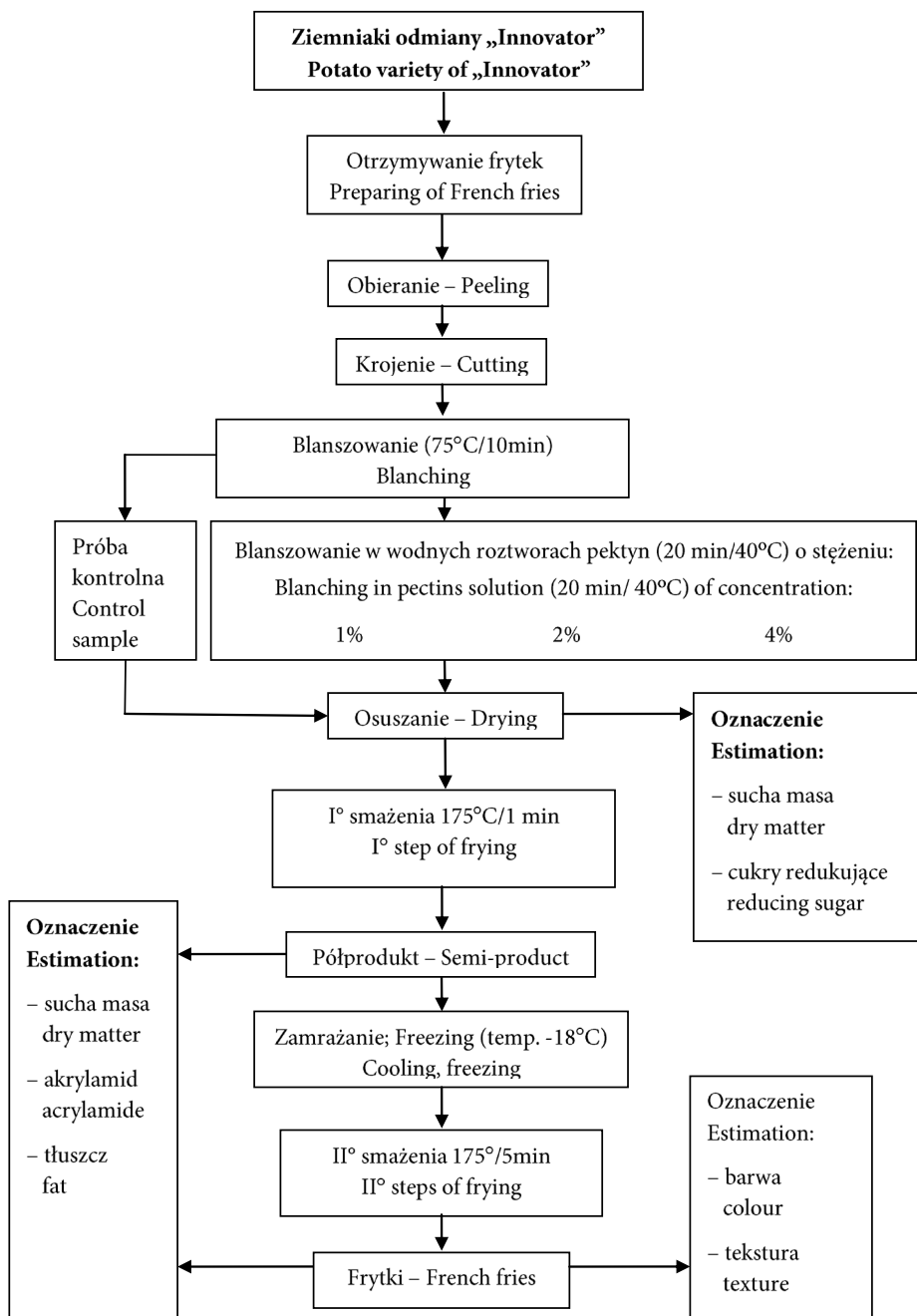
3.2.3. Wpływ blanszowania krawanki ziemniaczanej w roztworze pektyn na jakość frytek

Do badań użyto bulw ziemniaka odmiany „Innovator”, z których sporządzono frytki, stosując po blanszowaniu w wodzie, blanszowanie krawanki w wodnych roztworach pektyn otrzymanych z wycisków cytrusowych i jabłkowych (Pektowin, Jasło) o stężeniu: 1%, 2% i 4% w temperaturze 40°C (313 K) przez 20 minut. Próbę kontrolną stanowiły frytki niezanurzone w roztworze pektyn.

W krawance po blanszowaniu w wodzie i w wodnych roztworach pektyn oznaczono zawartość suchej masy i cukrów redukujących. We frytkach po I i II stopniu smażenia oznaczono zawartość suchej masy, akrylamidu i tłuszczu. We frytkach gotowych do spożycia oznaczono ponadto barwę i teksturę metodą instrumentalną. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 3. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 3. The scheme of investigation and analysis



Rys. 4. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 4. The scheme of investigation and analysis

3.2.4. Wpływ dodatku pektynolitycznego preparatu enzymatycznego do blanszowania krajanki ziemniaczanej na jakość frytek

Do badań użyto bulw ziemniaków wczesnej odmiany „Innovator”, z których sporządzono frytki, stosując po blanszowaniu w wodzie blanszowanie w wodzie z dodatkiem pektynolitycznego preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L (handlowy preparat enzymatyczny otrzymany z *Aspergillus aculeatus*, enzym poligalakturonazy (PG) z firmy Novozymes A/S) w ilości: 0,5 g·L⁻¹, 1 g·L⁻¹ i 2 g·L⁻¹, o temperaturze 40°C (313,1 K) przez 20 minut. Próbkę kontrolną stanowiły frytki niezanurzone w roztworze preparatu enzymatycznego.

W krajance po blanszowaniu w wodzie i w roztworach z dodatkiem preparatu enzymatycznego oznaczano suchą masę i zawartość cukrów redukujących. W półprodukcie (frytki po I stopniu smażenia) i we frytkach oznaczono suchą masę, zawartość akrylamidu i tłuszczu. W produkcie gotowym do spożycia oznaczono ponadto barwę i teksturę metodą instrumentalną. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz przedstawiono na rysunku 5.

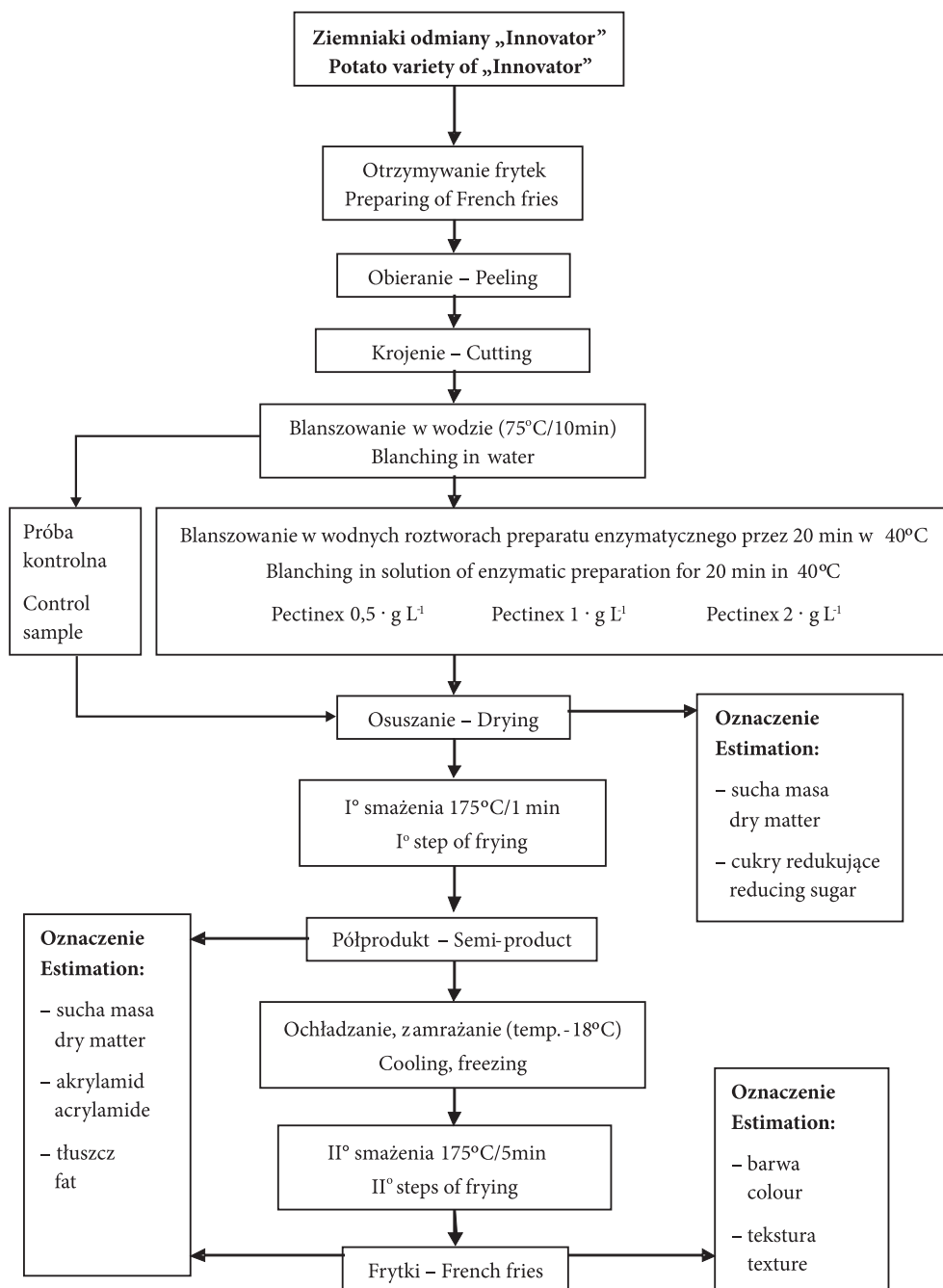
3.2.5. Wpływ metody poduszania krajanki ziemniaczanej na jakość frytek

Do badań użyto bulw ziemniaków odmiany „Innovator”, z których sporządzono frytki, stosując po blanszowaniu poduszanie krajanki metodą konwekcji wymuszonej w temperaturze 50°C (323,15 K) oraz metodą mikrofalowo-próżniową przy mocy magnetronu – 480W i ciśnieniu zmieniającym się w zakresie od 4 kPa do 6kPa. Podszuszoną krajankę odwodniono o 1–4%, czyli do uzyskania suchej masy 22, 23, 24 i 25%, przy początkowej zawartości suchej masy w krajance wynoszącej 21%. Próbkę kontrolną stanowiły frytki bez poduszania.

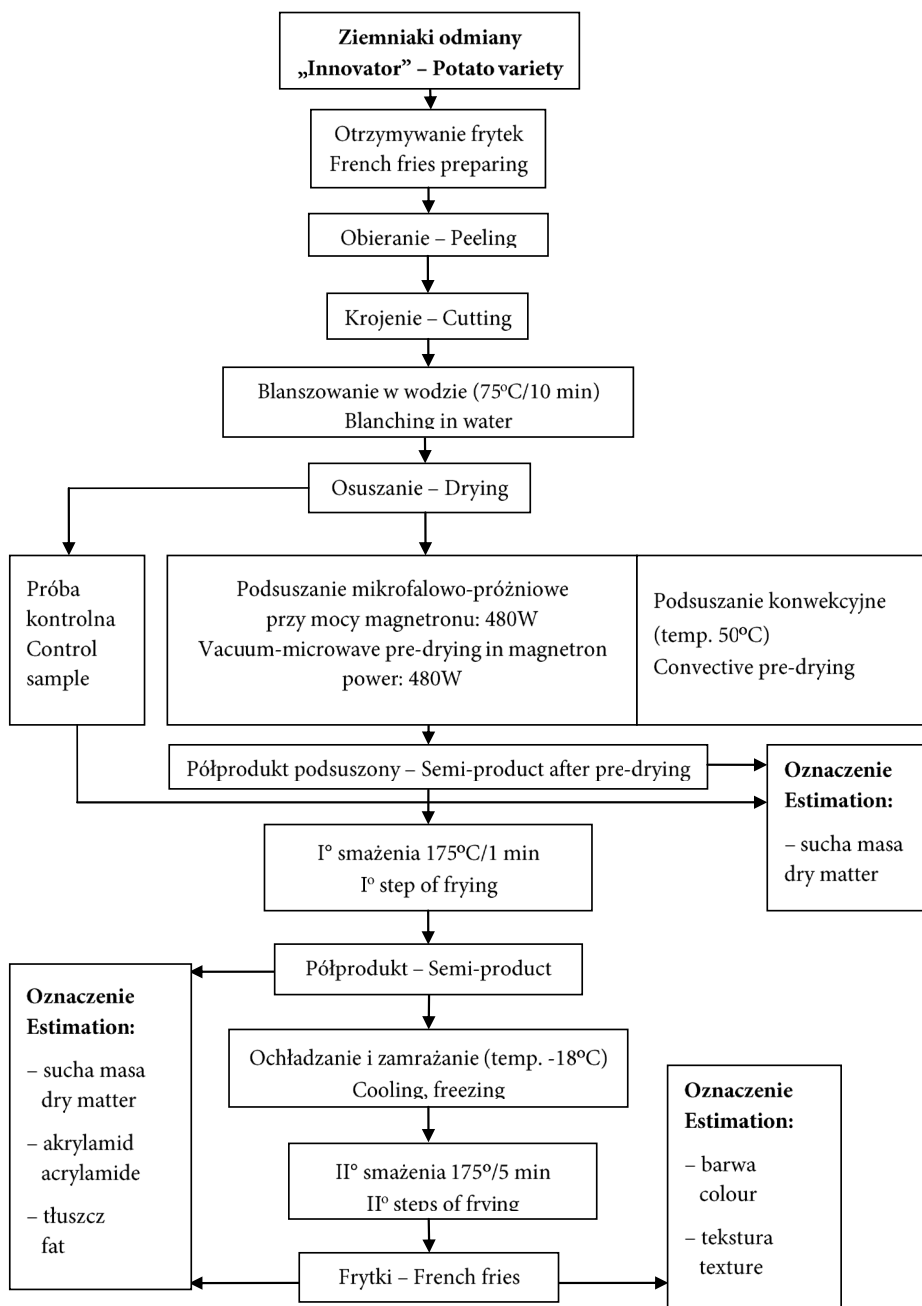
W krajance ziemniaczanej po blanszowaniu w wodzie oraz po poduszaniu metodą mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną oznaczono zawartość suchej masy. We frytkach po I i II stopniu smażenia oznaczono zawartość suchej masy, akrylamidu i tłuszczu. We frytkach gotowych do spożycia oznaczono ponadto barwę i teksturę metodą instrumentalną. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz przedstawiono na rysunku 6.

3.2.6. Wpływ temperatury i czasu smażenia na jakość frytek

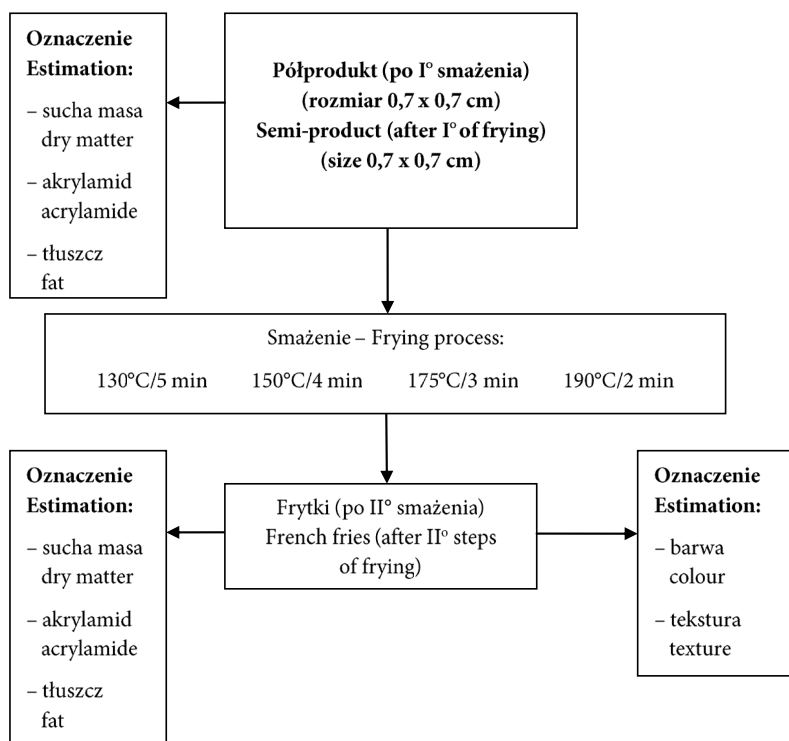
Do badań użyto mrożonego półproduktu (frytki po I° smażenia) pochodzącego od producenta (Zakład McCain). Frytki były wyprodukowane z ziemniaków odmiany „Innovator” o wymiarach 0,7x0,7 cm. Frytki gotowe do spożycia otrzymywano przez smażenie półproduktu w oleju rzepakowym podgrzany do czterech temperatur: 130°C (403,15 K), 150°C (423,15K), 175°C (448,15K) i 190°C (463,15 K). Czas smażenia był dobrany w doświadczeniu próbnym tak, by uzyskać frytki o wyrównanej zawartości suchej masy w granicach 52–53% i wynosił odpowiednio: 5, 4, 3 i 2 min. We frytkach po I i II stopniu smażenia oznaczono zawartość suchej masy, akrylamidu i tłuszczu. We frytkach gotowych do spożycia oznaczono ponadto barwę i teksturę metodą instrumentalną. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 5. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 5. The scheme of investigation and analysis



Rys. 6. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 6. The scheme of investigation and analysis



Rys. 7. Schemat przebiegu badań i wykonanych analiz
Fig. 7. The scheme of investigation and analysis

3.3. Metody analiz

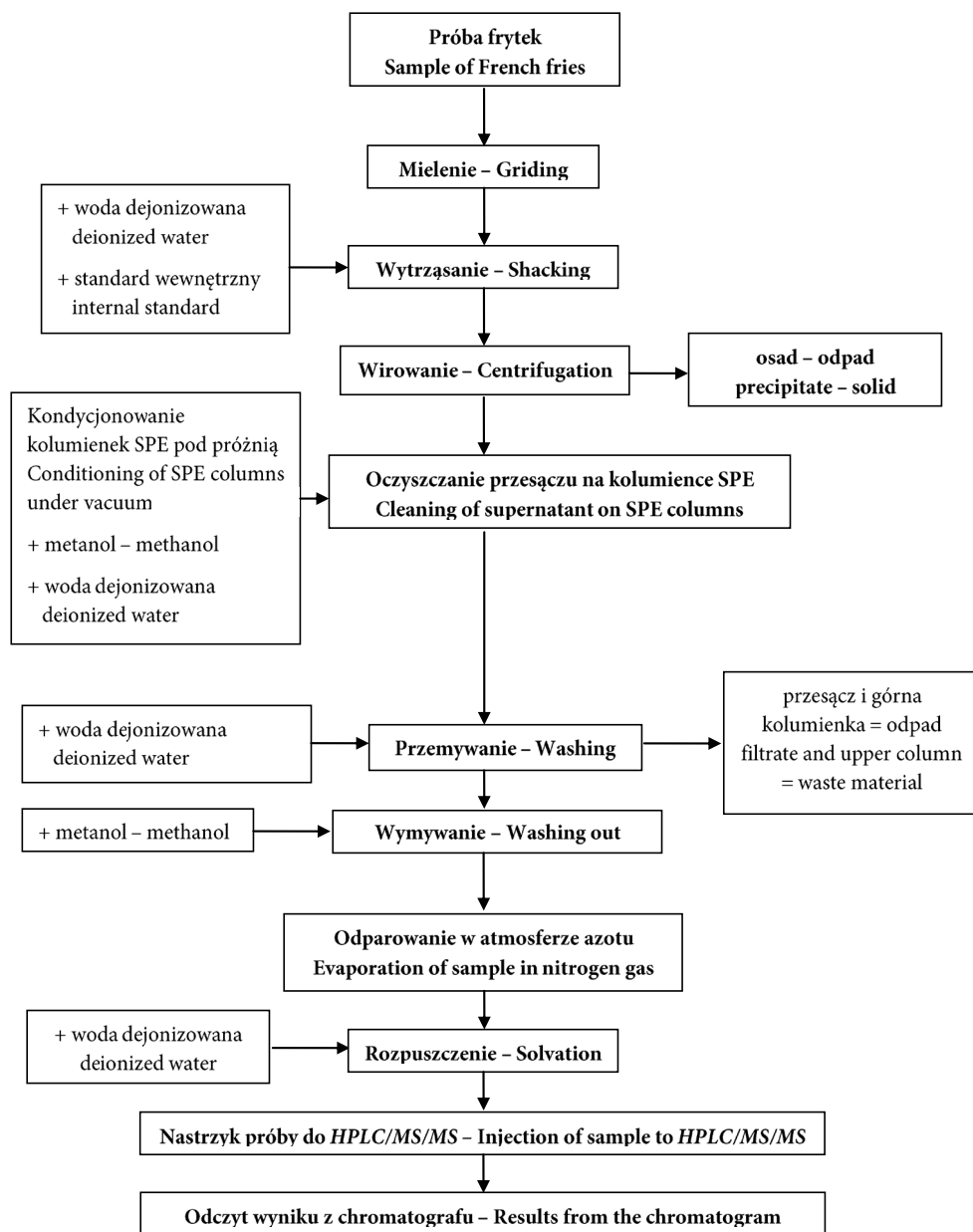
Oznaczenie suchej masy w bulwach ziemniaka, półproduktach i gotowych frytkach metodą wagową przez suszenie rozdrobnionej próby do stałej masy w temperaturze 105°C (378,15 K) po uprzednim podsuszeniu w temperaturze 60°C (333,15 K) przez 2 h [AOAC, 1995].

Oznaczenie zawartości skrobi w bulwach ziemniaka metodą polarymetryczną Eversa-Grossfelda w modyfikacji Hadorna i Bifera [Leszczyński 1975].

Oznaczenie zawartości cukrów redukujących w bulwach ziemniaka oraz w krajance po blanszowaniu metodą redukcyjną Nizowkina–Jemielianowej [Jarosz i in. 1955]

Oznaczenie zawartości tłuszczu w półprodukcie (frytki po I° smażenia) oraz w gotowym produkcie (frytki po II° smażenia) metodą ekstrakcyjną Soxhleta, przy użyciu aparatu typu Büchi Extraction System B-811 [AOAC 1995].

Oznaczenie zawartości akrylamidu w półprodukcie (frytki po I° smażenia) oraz w gotowym produkcie (frytki po II° smażenia) metodą opracowaną przez Rösen i Hellenäs [2002] oraz Hoenicke i in. [2004], a zmodyfikowaną w Katedrze Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu [Tajner-Czopek i in. 2009b], przy użyciu aparatu HPLC/MS/MS (chromatograf ciekłowy z tandemowym spektrofotometrem masowym). Sposób przygotowania prób do oznaczeń zawartości akrylamidu przedstawiono schematycznie na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat przygotowania próby do oznaczenia zawartości akrylamidu
 Fig. 8. The scheme of the sample preparation in measuring of acrylamide content

Próbkę frytek zmielono przy użyciu młynka – typ GM 200 firmy Retsch, przy 2000 obr·min⁻¹ w czasie 16 sekund. Odważono zmielone, nieodtłuszczone frytki (z dokładnością do 0,001 g) do probówek Falcona o pojemności 50 ml i dodano 10 ml wody dejonizowanej (Water Milli-Q) oraz 50 µl standardu wewnętrznego (akrylamidu d₃) o stężeniu 10 µg·ml⁻¹. Próbkę wytrząsano przy użyciu aparatu – typ 327 Universal Shaker przez 15 min. Następnie próbkę wirowano przy użyciu wirówki – typ 3 KI 5 firmy Sigma przy obrotach 9500 obr·min⁻¹ w temperaturze 4°C (277,15 K) przez 15 min. Po odwirowaniu osad usunięto, natomiast klarowny roztwór przenoszono na kolumienki SPE, uprzednio poddane kondycjonowaniu.

Kondycjonowanie kolumienek. Stosowano kolumienki firmy SUPELCO: SPE – MCAX (300 mg o objętości 3 ml) oraz DSC C-18 (1 g o objętości 6 ml). Kolumienki ustawiano jedną bezpośrednio nad drugą, łączono za pomocą adaptera i umieszczano na próżniowym zestawie do sączenia firmy VARIAN. Przemycano je 1 ml metanolu oraz 1 ml wody dejonizowanej, a następnie osuszano przy użyciu próżni. Po zakończeniu kondycjonowania na przygotowane kolumienki SPE nanoszono 1 ml wcześniej otrzymanego klarownego roztworu znad osadu. W celu przemycia próby dodawano 1 ml wody dejonizowanej. Kolumienkę (MCAX 300 mg) odrzucano, a akrylamid eluowano z kolumienki SPE (DSC C-18) za pomocą 2 ml metanolu i odparowywano do sucha w temperaturze 50°C (323,15 K) w atmosferze azotu. Suchą pozostałość rozpuszczano w 0,5 ml wody dejonizowanej, przepuszczano przez filtr strzykawkowy (0,22 µm) i nastrzykiwano do autosamplera aparatu HPLC/MS/MS. Z uzyskanego chromatografu odczytano wynik, który po przeliczeniu wyrażono w µg·kg⁻¹.

Oznaczenie barwy gotowego produktu (frytki po II° smażenia) metodą instrumentalną przy użyciu chromometru Minolta CR-200 (Chroma-Meter). Odczytywano wartość „L” według skali Huntera, oznaczając jasność (0% dla ciała idealnie czarnego, 100% dla ciała idealnie białego) [Clydesdale 1976]. Pomiar barwy wykonano na powierzchni 10 frytek ułożonych obok siebie. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach.

Oznaczenie tekstury gotowego produktu (frytki po II° smażenia) wykonano metodą instrumentalną przy użyciu aparatu pomiarowego typu Instron 5544 z oprogramowaniem Merlin. Urządzenie wyposażono w prostokątną przystawkę przecinającą typu QTS-25-SB, przesuwaną się z prędkością 250 mm·min⁻¹. Oznaczenie wykonano w dziesięciu powtórzeniach. Przecięcie każdej frytki następowało w połowie jej długości. Oznaczono maksymalną siłę F_{max} wyrażoną w [N], potrzebną do przecięcia frytki [Bourne 2002, Tajner-Czopek, Figiel 2003].

Przedstawione w tabelach i na rysunkach wyniki badań stanowią wartości średnie z trzech równoległych powtórzeń technologicznych. Analizy laboratoryjne wykonano w dwóch lub trzech powtórzeniach.

3.4. Sposób przedstawienia wyników

Otrzymane wyniki badań poddano analizie statystycznej przy użyciu pakietu STATISTICA 8.1 firmy StatSoft, stosując jednoczynnikową analizę wariancji [Stanisz 2000]. W celu stwierdzenia statystycznie istotnych różnic (NIR; LSD) wyznaczono grupy homogeniczne oraz wartości NIR, stosując test porównań wielokrotnych Duncana, na poziomie istotności $\alpha=0,05$. W celu znalezienia zależności pomiędzy zawartością akrylamidu w gotowym produkcie a jego barwą wyliczono współczynnik korelacji.

4. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

4.1. Barwa frytek i zawartość akrylamidu w zależności od użyczego surowca

Zawartość suchej masy, skrobi i cukrów redukujących w bulwach trzech odmian ziemniaka („Felsina”, „Innovator” i „Santana”) użytych w doświadczeniu do produkcji frytek przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3
Table 3

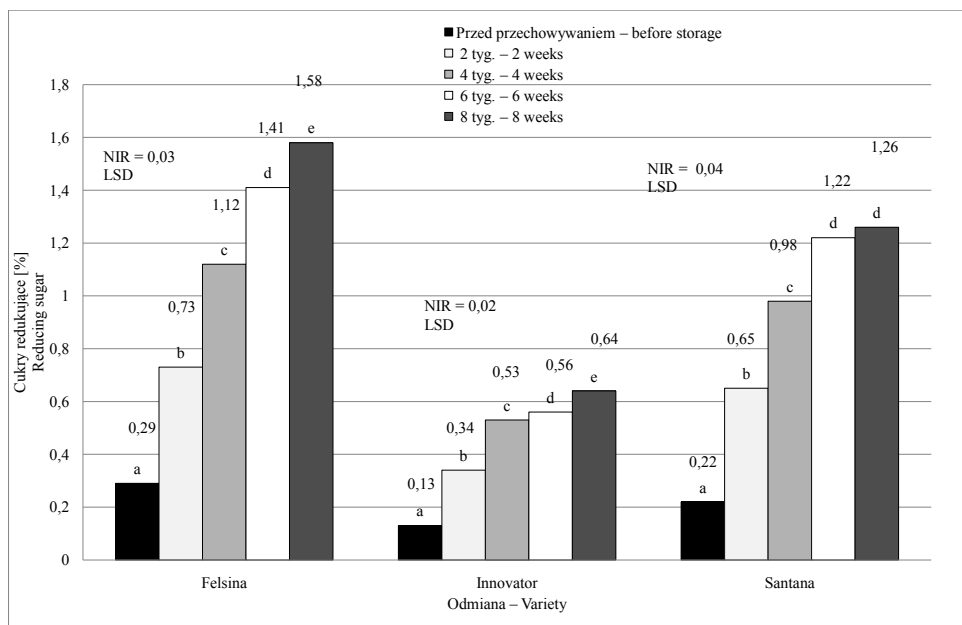
Zawartość suchej masy, skrobi i cukrów redukujących w bulwach ziemniaka trzech odmian (przed przechowywaniem)
The content of dry matter, starch and reducing sugar in three varieties of potato (before storage)

Odmiana Variety	Sucha masa [%] Dry matter	Skrobia [%] Starch	Cukry redukujące [%] Reducing sugar
Felsina	20,60±0,02 a	15,17±0,02 a	0,29±0,02 c
Innovator	22,10±0,03 c	16,42±0,02 c	0,13±0,01 a
Santana	21,13±0,02 b	16,01±0,03 b	0,22±0,01 b
NIR; LSD	0,03	0,04	0,02

a, b, c – istotne różnice wyników ($p \leq 0,05$) – a, b, c – significant differences among results ($p \leq 0,05$)
Odchylenie standardowe±SD – standard deviation ±SD; n=9

Skład chemiczny bulw ziemniaka użytych w doświadczeniu mieścił się w granicach wymaganych przy produkcji frytek: sucha masa 20–23%, skrobia 14–17% i cukry redukujące poniżej 0,3%. Badane odmiany jednak różniły się istotnie zawartością oznaczanych składników w bulwach – najwyższą zawartością suchej masy i skrobi charakteryzowały się ziemniaki odmiany „Innovator”, a odmiany „Felsina” zawierały największą ilość cukrów redukujących.

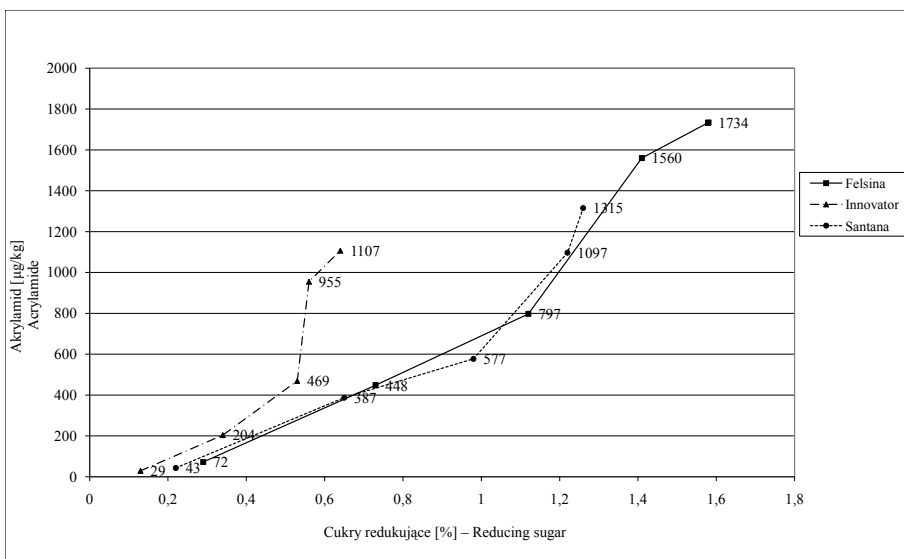
Ocenę wpływu zawartości cukrów redukujących w bulwach na ilość akrylamidu powstającego we frytkach po I i II stopniu smażenia oraz barwę gotowego produktu przeprowadzono po przechowywaniu ziemniaków w obniżonej temperaturze przez zaplanowany okres czasu (parametry zamieszczono w metodyce). Z danych przedstawionych na rysunku 9 wynika, że wraz z upływem czasu przechowywania – systematycznie zwiększała się w stopniu istotnym zawartość cukrów redukujących w bulwach wszystkich prób. Po ośmiu tygodniach zawartość cukrów redukujących w ziemniakach odmian „Felsina” i „Santana” wzrosła ponad 5-krotnie (osiągając odpowiednio 1,58 i 1,26%), natomiast najmniejszy wzrost ilości cukrów stwierdzono w odmianie „Innovator” (do 0,64%). Ziemniaki tej odmiany gromadziły średnio o około 55% (około połowę) mniej cukrów redukujących w bulwach po 8 tygodniach przechowywania w niskiej temperaturze w porównaniu z odmianami „Felsina” i „Santana”.



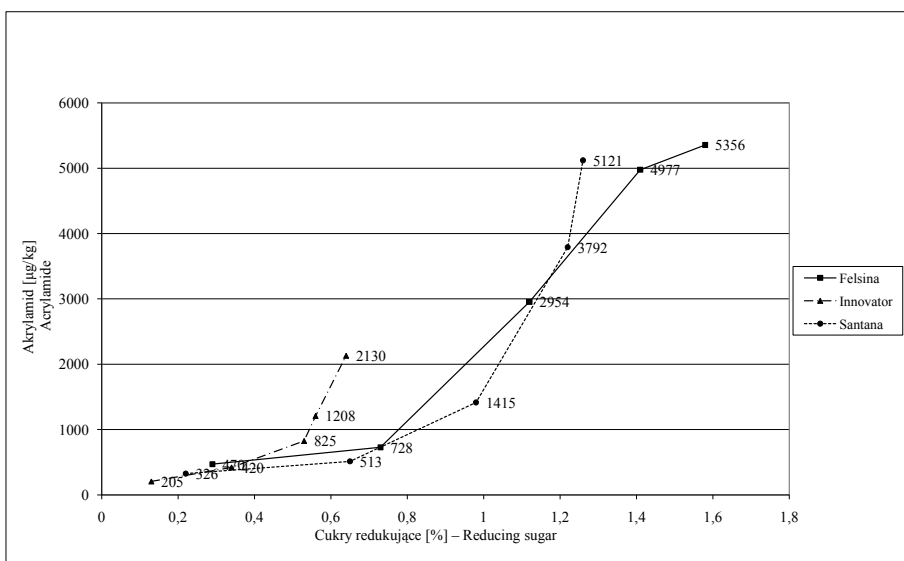
Rys. 9. Zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka trzech odmian przechowywanych w temperaturze 4°C (277,15 K) przez okres od 2 do 8 tygodni
 Fig. 9. The reducing sugar content in three potato varieties stored in temperature of 4°C (277,15 K) from 2 to 8 weeks

Zwiększenie zawartości cukrów w bulwach miało wpływ na ilość wytworzonego akrylamidu w sporządzonych frytkach zarówno po I stopniu smażenia (rys. 10), jak i w gotowym produkcie (rys. 11). Intensywność i ilość powstawania akrylamidu we frytkach zależała jednak nie tylko od ilości cukrów redukujących w surowcu, ale również od rodzaju surowca (odmiany ziemniaka). Zarówno w półprodukcie, jak i w gotowych frytkach sporządzonych z odmian „Felsina” i „Santana” stwierdzono podobne ilości akrylamidu i podobny schemat tworzenia się tego związku w zależności od zawartości cukrów w bulwach. Po przekroczeniu zawartości 1% cukrów redukujących w surowcu wzrastała zawartość akrylamidu w półprodukcie z około 570 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do ponad 1 700 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ oraz w gotowych frytkach z około 1 400 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do ponad 5 000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tworzenie się cukrów redukujących w ziemniakach odmiany „Innovator” przechowywanych w tych samych warunkach co odmiany „Felsina” i „Santana” było mniej intensywne i w końcowym okresie przechowywania bulwy zawierały najmniejszą ilość cukrów redukujących. Również schemat powstawania akrylamidu w półprodukcie i we frytkach z odmiany „Innovator” był inny niż pozostałych odmian. Po przekroczeniu zawartości 0,5% cukrów redukujących w surowcu ilość akrylamidu we frytkach intensywniej wzrastała w porównaniu z pozostałymi dwiema odmianami (rys.10, 11). Ponadto frytki sporządzone z ziemniaków odmiany „Innovator” przetrzymywanych w niskiej temperaturze przez 8 tygodni zawierały w półprodukcie mniej akrylamidu o około 27%, a w gotowym produkcie około 60% w porównaniu z próbami z odmian „Felsina” i „Santana”.



Rys. 10. Zawartość akrylamidu w półprodukcie (frytki po I stopniu smażenia) w zależności od ilości cukrów redukujących w bulwach ziemniaka trzech odmian
 Fig. 10. The acrylamide content in semi-product (French fries after 1 step of frying) as depended on the reducing sugar content in potato tubers of three varieties

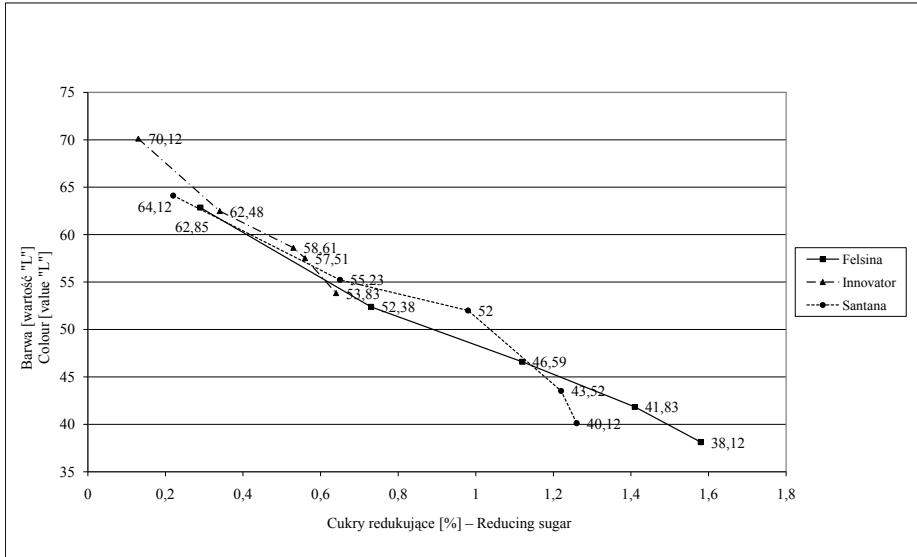


Rys.11. Zawartość akrylamidu we frytkach w zależności od ilości cukrów redukujących w ziemniaka trzech odmian
 Fig.11. The acrylamide content of in French fries as depended on the reducing sugar content in potato tubers of three varieties

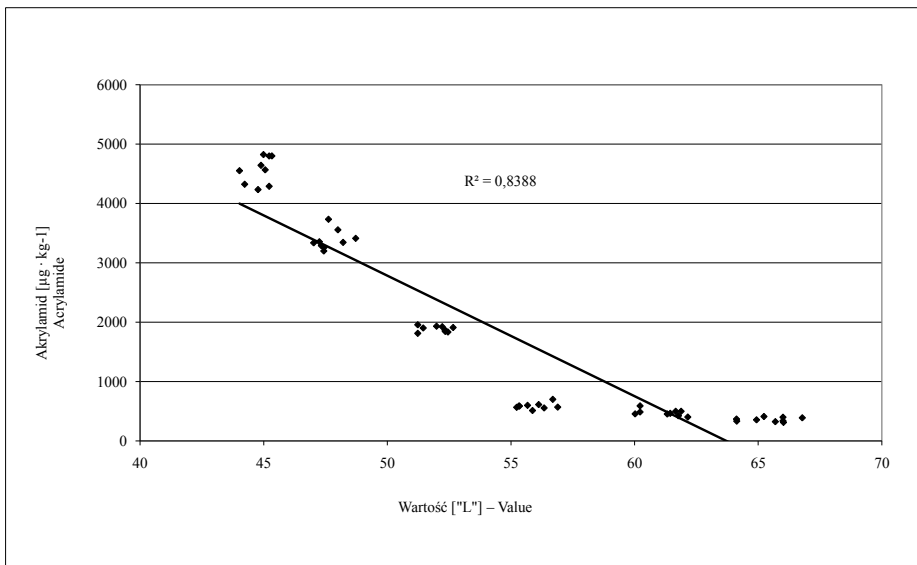
Barwa frytek (rys. 12) zależała od ilości cukrów redukujących w surowcu badanych odmian. Krzywe zależności barwy frytek (wyrażonej wartościami „L”) od ilości cukrów redukujących w ziemniakach odmian „Felsina”, „Innovator” i „Santana” mają ten sam przebieg.

Wyraźna jest zależność pomiędzy rosnącą zawartością cukrów redukujących w bulwach badanych odmian ziemniaka a pogarszającą się barwą (zbyt ciemna) sporządzonych z nich frytek.

Barwa gotowego produktu istotnie korelowała z zawartością akrylamidu we frytkach sporządzonych z ziemniaków badanych odmian ($R^2= 0,8388$) (rys. 13).



Rys. 12. Barwa (wartość „L”) frytek w zależności od zawartości cukrów redukujących w bulwach ziemniaka trzech odmian
 Fig. 12. The French fries colour (value "L") as depended on the reducing sugar content in potato tubers of three varieties



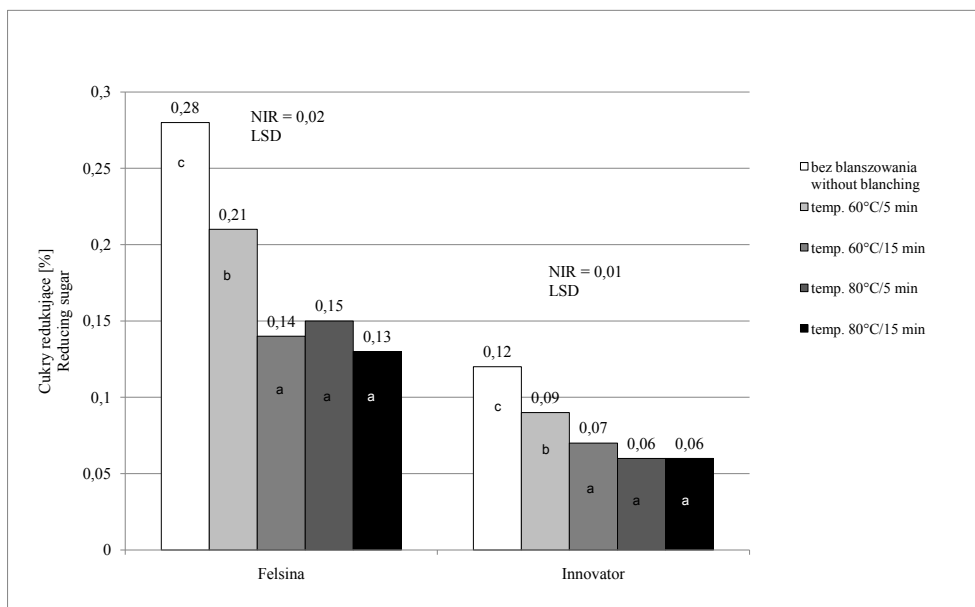
Rys. 13. Zależność barwy (wartość „L”) frytek od zawartości akrylamidu
 Fig. 13. Relationship between the colour (value "L") of French fries and the acrylamide content

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że ilość gromadzonych cukrów redukujących oraz tempo ich przyrostu w bulwach ziemniaka badanych odmian były różne. Najmniej cukrów redukujących zawierały ziemniaki odmiany „Innovator”, wolniejsze też było tempo ich gromadzenia w bulwach. Po 8 tygodniach przechowywania w niskiej temperaturze zawartość cukrów redukujących w bulwach ziemniaka odmiany „Innovator” była średnio o około 55% niższa w porównaniu z odmianami „Santana” i „Felsina”. Ilość akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach zależała od zawartości cukrów redukujących w bulwie, a tym samym od odmiany ziemniaka. Po przekroczeniu 0,5% cukrów redukujących w ziemniakach odmiany „Innovator” ilość akrylamidu we frytkach intensywnie zwiększała się, natomiast w próbach sporządzonych z ziemniaków odmian „Felsina” i „Santana” – dopiero po przekroczeniu 1% cukrów redukujących. Jednak próby zawierające usmażone ziemniaki odmiany „Innovator” (po 8 tygodniach przetrzymywania w temperaturze 4°C) zawierały średnio o około 27% mniej akrylamidu w półprodukcie i o około 60% mniej we frytkach w porównaniu z próbami uzyskanymi z dwóch pozostałych odmian.

4.2. Tekstura, barwa frytek i zawartość akrylamidu w zależności od warunków blanszowania w wodzie

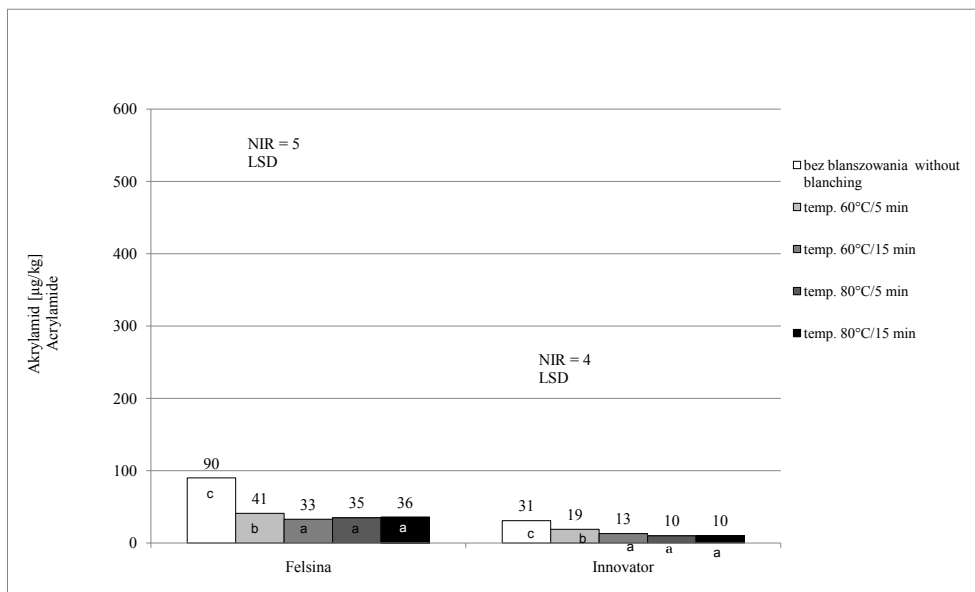
Odmiany ziemniaka różnią się zawartością i rozłożeniem cukrów redukujących w bulwach, stąd też ilość wypłukiwanych z krajanki ziemniaka cukrów może być zróżnicowana, w zależności od warunków pierwszego z termicznych etapów produkcji frytek – blanszowania. Modyfikacja temperatury i czasu tego procesu umożliwia zmianę intensywności wypłukiwania cukrów redukujących z krajanki i w rezultacie może mieć wpływ na ilość akrylamidu w smażonym ziemniaku oraz inne cechy organoleptyczne frytek.

Zastosowanie blanszowania w procesie otrzymywania frytek wpłynęło istotnie na obniżenie zawartości cukrów redukujących w krajance obu badanych odmian („Innovator” i „Felsina”) o 25–50% (rys. 14) w porównaniu z próbami bez blanszowania. Wyższa temperatura (80°C – 353,15 K) wody blanszującej miała bardziej efektywny wpływ na ilość wypłukiwanych z krajanki cukrów. Po blanszowaniu zostało w krajance o połowę mniej cukrów niż w próbie kontrolnej i to przy krótkim (5 min) czasie blanszowania. Blanszowanie w wodzie o niższej temperaturze (60°C – 333,15 K) wymagało dłuższego czasu (15 min), żeby uzyskać ten sam efekt. Przy wyższej początkowej zawartości cukrów redukujących w krajance z ziemniaków odmiany „Felsina” (0,28%) po blanszowaniu pozostało jeszcze 0,13–0,15% cukrów, czyli tyle, ile zawierała krajanka otrzymana z ziemniaków odmiany „Innovator”, niepoddana temu zabiegowi (0,12%). Blanszowanie krajanki otrzymanej z ziemniaków odmiany „Innovator” spowodowało zmniejszenie w niej cukrów redukujących do ilości 0,06%.



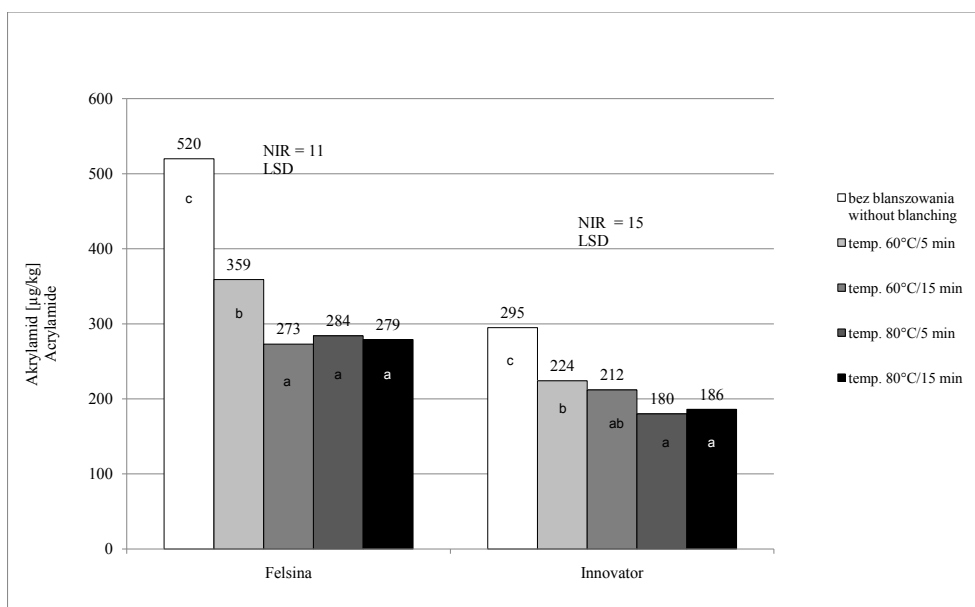
Rys. 14. Zawartość cukrów redukujących w krajance otrzymanej z ziemniaków dwóch odmian w zależności od warunków blanszowania w wodzie
 Fig. 14. The reducing sugar content in potato strip obtained from two potato varieties as depended on blanching condition in water

Obniżenie zawartości cukrów redukujących w krajance poddanej blanszowaniu miało istotny wpływ na zmniejszenie zawartości akrylamidu zarówno w półprodukcie (rys. 15), jak i w gotowych frytkach (rys. 16), niezależnie od zastosowanych parametrów procesu. Blanszowanie w wodzie o temperaturze 80°C (353,15 K) i 60°C (333,15 K) zarówno przez 15, jak i przez 5 minut, skutecznie wymyło z krajanki cukry redukujące i w rezultacie zmniejszyło ilość akrylamidu we frytkach. W półprodukcie zawartość tego związku zmniejszyła się istotnie z ponad 90 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 33 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (odmiana „Felsina”) i z 31 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 10–13 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (odmiana „Innovator”). Podobną tendencję do obniżenia poziomu AA zaobserwowano w gotowych frytkach, z tym że ilość tego związku zmniejszyła się o około 46% i o około 37% (rys. 16). Proces blanszowania krajanki sporządzonej z ziemniaków obu odmian w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min istotnie obniżył zawartość akrylamidu we frytkach po I stopniu smażenia (średnio o około 59%) oraz w gotowym produkcie (średnio o około 37%), natomiast blanszowanie w 80°C (353,15 K) przez 5 min zmniejszyło ilość AA w gotowych frytkach średnio o około 41% (badane odmiany). Frytki sporządzone z ziemniaków odmiany „Innovator” blanszowane w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min i 80°C (353,15 K) przez 5 min charakteryzowały się średnio o około 30% niższą zawartością AA niż frytki otrzymane z odmiany „Felsina”. Blanszowanie krajanki z ziemniaków odmiany „Felsina” (zawierającej wyjściowo prawie 0,3% cukrów redukujących) w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 5 min było zbyt krótkie. Zawartość akrylamidu we frytkach z tej samej krajanki była wyższa o około 24% (359 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż z krajanki blanszowanej dłużej – 15 min (273 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).



Rys. 15. Zawartość akrylamidu w półprodukcie sporządzonym z krajanki otrzymanej z ziemniaków dwóch odmian w zależności od warunków blanszowania w wodzie

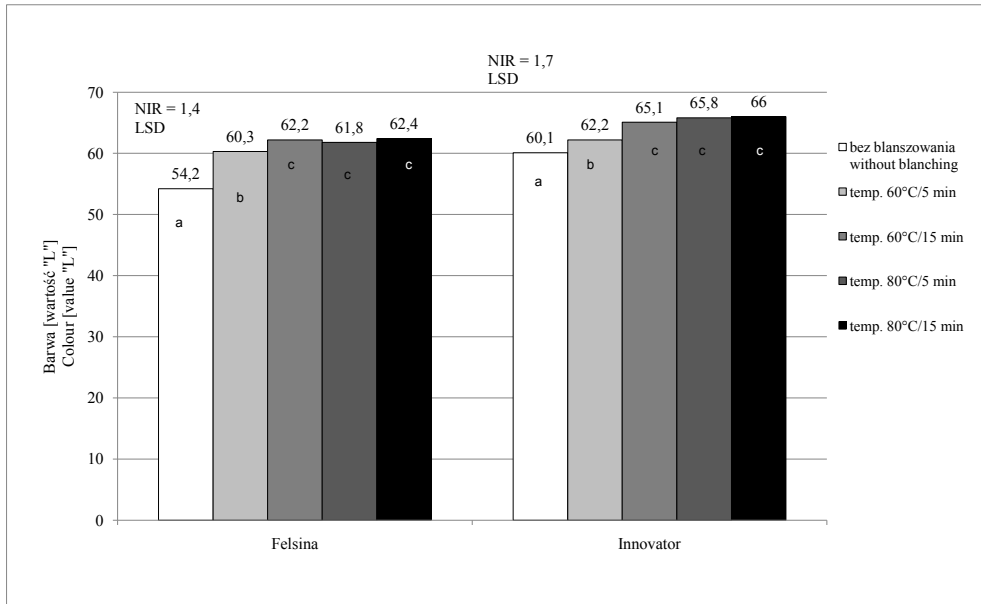
Fig. 15. The acrylamide content in semi-product prepared from potato strip obtained from two potato varieties as depended on blanching condition in water



Rys. 16. Zawartość akrylamidu we frytkach sporządzonych z krajanki otrzymanej z ziemniaków dwóch odmian w zależności od warunków blanszowania w wodzie

Fig. 16. The acrylamide content in French fries prepared from potato strip obtained from two potato varieties as depended on blanching condition in water

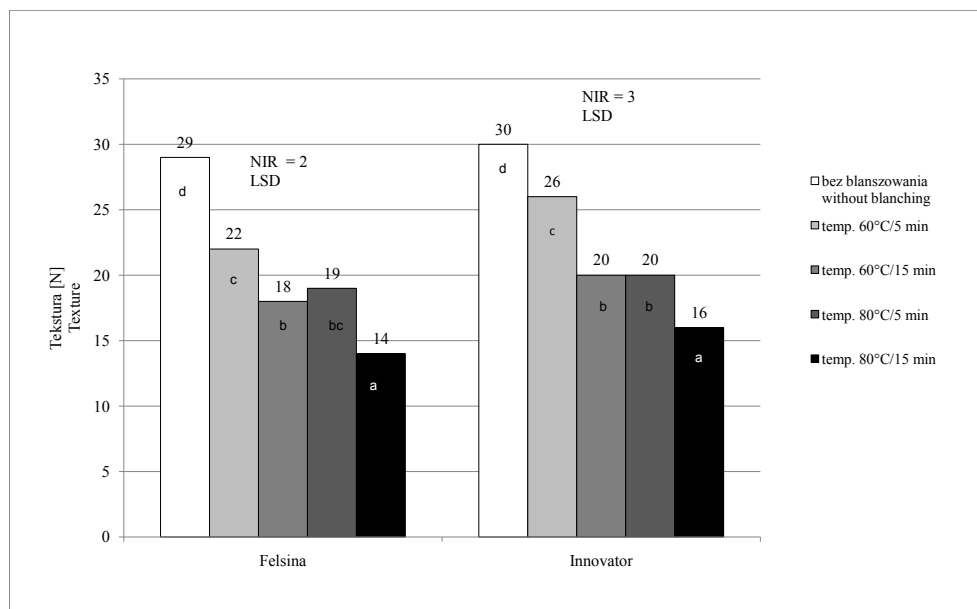
Barwa frytek ściśle zależała od zawartości cukrów redukujących w krajance po blanszowaniu. Zastosowany w doświadczeniu krótszy czas blanszowania (5 min) był niekorzystny zarówno w procesie wypłukiwania cukrów z krajanki, jak i formowania barwy frytek (zbyt ciemna) (rys. 17).



Rys. 17. Barwa (wartość „L”) frytek sporządzonych z krajanki otrzymanej z ziemniaków dwóch odmian w zależności od warunków blanszowania w wodzie

Fig. 17. The French fries colour (value "L") prepared from potato strip obtained from two potato varieties as depended on blanching condition in water

Tekstura frytek z krajanki niepoddanej procesowi blanszowania była zbyt twarda (wartości 29 N i 30 N). Frytki o prawidłowej teksturze (około 20 N) uzyskano z krajanki blanszowanej przez 5 minut w wodzie o temperaturze 80°C (353,15 K) lub w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 minut (rys. 18).



Rys. 18. Tekstura frytek sporządzonych z krajanki otrzymanej z ziemniaków dwóch odmian w zależności od warunków blanszowania w wodzie
 Fig. 18. The texture of French fries prepared from potato strip obtained from two potato varieties as depended on blanching condition in water

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że proces blanszowania krajanki sporządzonej z ziemniaków odmian „Felsina” i „Innovator” spowodował istotne zmniejszenie ilości cukrów redukujących w zakresie średnio od 25 do 50% w porównaniu z próbą nieblanszowaną. Blanszowanie krajanki sporządzonej z ziemniaków odmiany „Innovator” miało wpływ na obniżenie w niej ilości cukrów redukujących do poziomu 0,06%. Poprawę barwy frytek uzyskano wraz ze wzrostem temperatury oraz czasu blanszowania, a widoczny efekt stwierdzono podczas blanszowania w temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min, zwłaszcza w próbach otrzymanych z ziemniaków odmiany „Innovator”. Natomiast blanszowanie w temperaturze 60°C (333,15 K) przez 5 min nie było wystarczające do uzyskania efektu poprawy barwy.

Odpowiednią teksturą charakteryzowały się frytki sporządzone z krajanki blanszowanej w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min i 80°C (353,15 K) przez 5 min. Niezależnie od czasu i temperatury blanszowania krajanki ziemniaczanej frytki po I i II stopniu smażenia charakteryzowały się istotnie niższą zawartością akrylamidu. Najniższą zawartością AA charakteryzowały się próby usmażone z krajanki blanszowanej w wodzie o temperaturze 80°C (353,15 K) przez 15 min w porównaniu z próbą kontrolną. Blanszowanie w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min istotnie obniżyło zawartość AA w półprodukcie (średnio o około 59%) i w gotowych frytkach (średnio o około 37%) sporządzonych z ziemniaków obu odmian w porównaniu z próbą kontrolną. Natomiast blanszowanie w wodzie o temperaturze 80°C (353,15 K) przez 5 min zmniejszyło ilość AA w gotowych frytkach średnio o około 41% (badane odmiany). Blanszownie frytek z odmiany „Innovator” w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min i 80°C (353,15 K) przez 5 min, zmniejszyło średnio o około 30% zawartość AA w porównaniu z frytkami otrzymanymi z odmiany

„Felsina”. Cechy organoleptyczne gotowego produktu uzyskanego po blanszowaniu krajanki ziemniaczanej w temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min i 80°C (353,15 K) przez 5 min były najbardziej zadowalające.

4.3. Zawartość tłuszczu, tekstura i barwa frytek oraz ilość powstającego akrylamidu jako efekt blanszowania w roztworach pektyn

Różna zawartość pektyn w ziemniakach ma wyraźny wpływ na kształtowanie tekstury frytek. Dodatek pektyn do blanszowania może poprawić cechy organoleptyczne otrzymanych frytek. Ważne jest też określenie, czy zastosowanie tej modyfikacji technologicznej będzie miało wpływ na tworzenie się akrylamidu.

Wpływ dodatku roztworu pektyny podczas blanszowania krajanki ziemniaczanej otrzymanej z ziemniaków odmiany „Innovator” na jakość otrzymanych frytek przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunkach 19, 20, 21 i 23. Zróźnicowanie stężeń roztworów użytych do blanszowania miało na celu wytypowanie stężenia najbardziej odpowiedniego, które użyte w doświadczeniu mogło mieć oczekiwany wpływ na jakość frytek. Otrzymane wyniki badań porównywano z wynikami próby kontrolnej (blanszowanej w wodzie).

Oznaczenie suchej masy półproduktu i gotowych frytek wykonano w celu kontroli równomiernego wysmażenia prób – we frytkach po I stopniu smażenia wynosiła ona średnio 27%, a we frytkach po II stopniu smażenia – średnio 54% (tab. 4).

Tabela 4

Table 4

Zawartość suchej masy i tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania krajanki

The dry matter and fat content in French fries after I^o and II^o stage of frying as depended on the concentration of pectins solution which was used to blanching of potato strips

Próba Sample	Frytki po I ^o smażenia French fries after I ^o stage of frying		Frytki po II ^o smażenia French fries after II ^o stage of frying	
	Sucha masa [%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat	Sucha masa [%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat
PK CS Stężenie roztworu pektyn Concentrating of pectins solution	26,16±0,04	3,73±0,06 c	54,18±	12,80±0,05 d
1%	27,41±0,03	2,83±0,05 b	53,85±	10,15±0,05 c
2%	27,22±0,02	1,87±0,06 a	54,30±	6,99±0,03 b
4%	27,65±0,03	1,13±0,05 a	55,56±	5,31±0,05 a
Średnia próby Mean of sample	27,11	2,39	54,47	8,81
NIR zawartości tłuszczu LSD of fat content		0,07		0,05

a, b, c – istotne różnice wyników stężenia pektyn ($p \leq 0,05$)

a, b, c – significant differences among results of pectins concentration ($p \leq 0,05$)

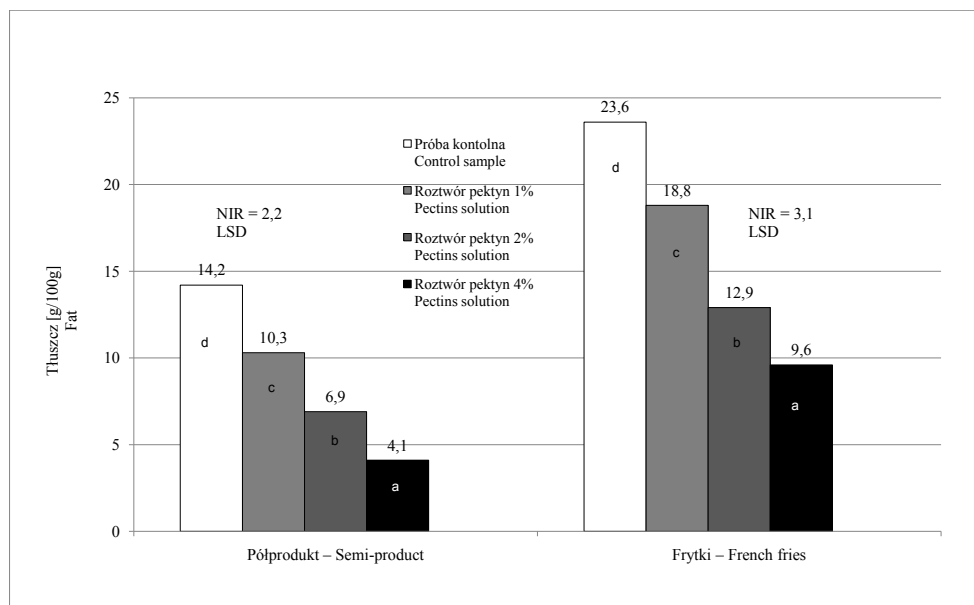
Odchylenie standardowe \pm SD – standard deviation \pm SD; n=9

NIR – najmniejsza istotna różnica – LSD – least significant difference

PK – próba kontrolna – CS – control sample

Zastosowanie blanszowania krajanki w roztworach pektyn w procesie sporządzania frytek miało istotny wpływ na obniżenie zawartości tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia w porównaniu z próbą kontrolną. Wraz ze wzrostem stężenia pektyn w roztworze blanszującym istotnie zmniejszała się ilość tłuszczu w półprodukcie i w gotowych frytkach (tab. 4). Zastosowanie 4% roztworu pektyn w największym stopniu obniżyło zawartość tłuszczu w półprodukcie (o około 70%) i w gotowych frytkach (o około 59%) w porównaniu z próbą kontrolną. Użycie najniższego stężenia pektyn (1%) również istotnie zredukowało ilość tłuszczu w półprodukcie (o około 24%) i we frytkach o około 21% w porównaniu z próbą blanszowaną w wodzie.

W półprodukcie zawartość tłuszczu (w przeliczeniu na 100 g s.m.) zmniejszyła się istotnie w zakresie od 27 do 71%, natomiast w gotowych frytkach od 20 do 60%, w zależności od stężenia pektyn w roztworze blanszującym (rys. 19).

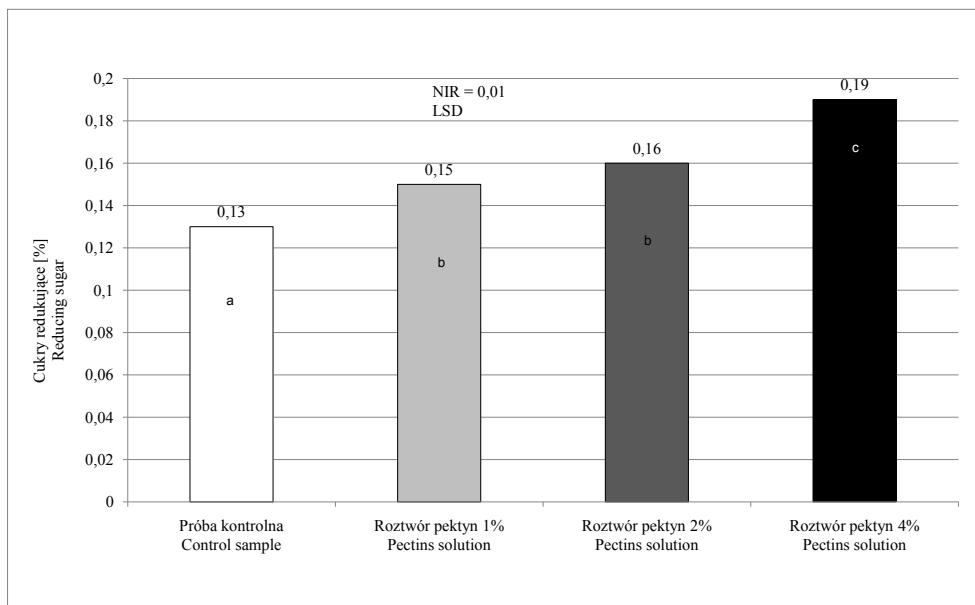


Rys. 19. Zawartość tłuszczu (w przeliczeniu na 100 g s.m.) w półprodukcie i we frytkach w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania

Fig. 19. The fat (in 100g d.m.) content in semi-product and French fries as depended on the concentration of pectins solution, which used to blanching

W krajance ziemniaczanej blanszowanej w roztworze pektyn o coraz wyższym stężeniu zwiększała się zawartość cukrów redukujących – przy zastosowaniu 4% stężenia pektyn ich ilość wzrosła istotnie (o około 32%) w porównaniu z próbą kontrolną (rys. 20).

Wzrost ilości cukrów redukujących miał istotny wpływ na podwyższenie zawartości akrylamidu we frytkach. Półprodukt sporządzony z krajanki blanszowanej w wodzie i w roztworach pektyn zawierał niskie ilości akrylamidu wynoszące około 20 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (rys. 21). W gotowych frytkach ilość AA była istotnie zróżnicowana i wahała się w zakresie od 335 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (próba kontrolna) do 735 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (frytki z krajanki blanszowanej w 4% roztworze pektyn). Użycie do blanszowania roztworu pektyn o najwyższym stężeniu (4%) zwiększyło w największym stopniu ilość akrylamidu w gotowych frytkach w porównaniu z frytkami blanszowanymi w wodzie (ponad połowę).



Rys. 20. Zawartość cukrów redukujących w krajance w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania

Fig. 20. The reducing sugar content in potato strips as depended on concentration of pectin solution, which used to blanching

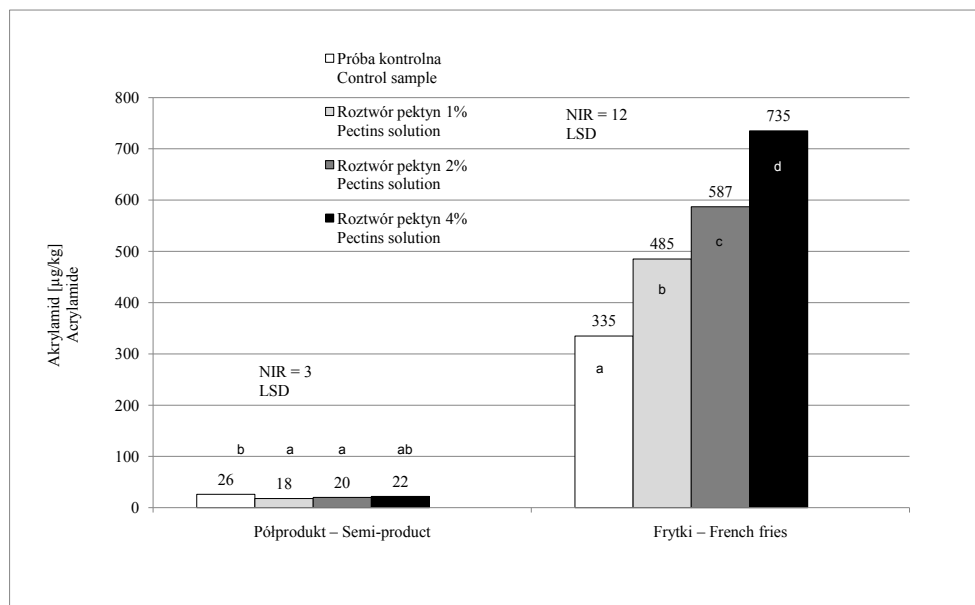
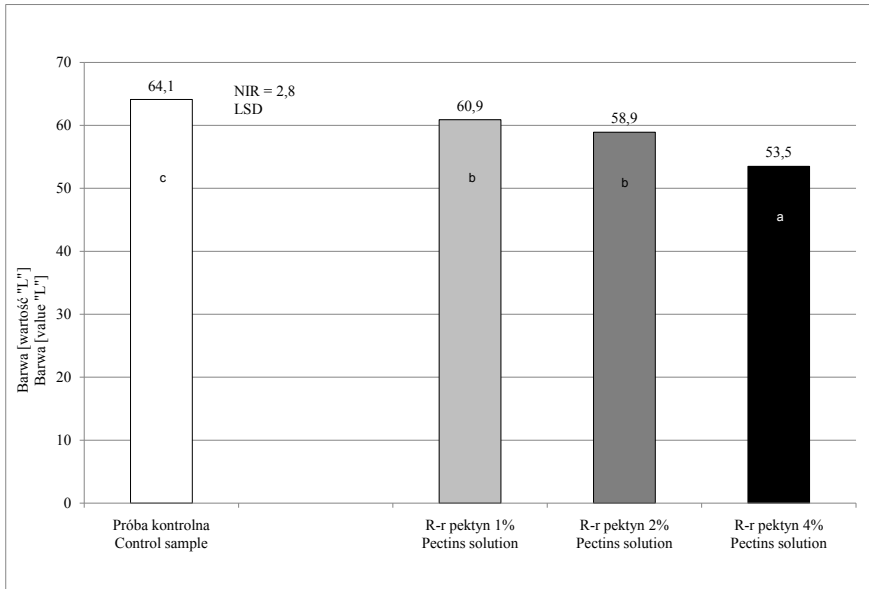


Fig. 21. Zawartość akrylamidu w półprodukcie i we frytkach w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania

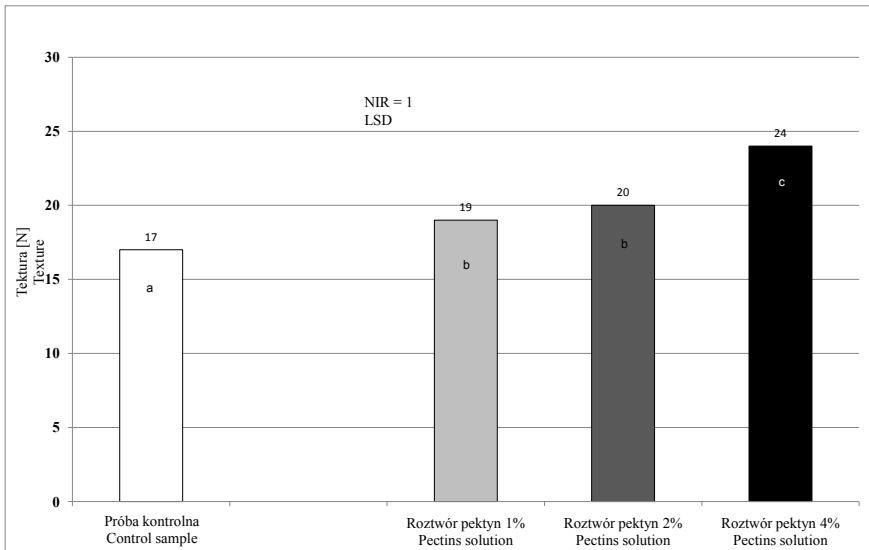
Rys. 21. The acrylamide content in semi-product and French fries as depended on the concentration of pectins solution, which used to blanching

Barwa frytek blanszowanych w wodzie była prawidłowa, w 1 i 2% roztworze pektyn odpowiednia, natomiast blanszowanie w 4% roztworze pektyn istotnie pogorszyło barwę, była ona ciemniejsza (rys. 22).

Tekstura frytek sporządzonych z krajanki blanszowanej w roztworach pektyn o stężeniach 1 i 2% wynosiła 19–20 N i była korzystniejsza niż próby kontrolnej (rys. 23). Frytki z krajanki blanszowanej w 4% roztworze pektyn były zbyt twarde – 24 N.



Rys. 22. Barwa (wartość „L”) frytek w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania
 Fig. 22. The French fries colour (value "L") as depended on the concentration of pectins solution, which used to blanching



Rys. 23. Tekstura frytek w zależności od stężenia roztworu pektyn użytego do blanszowania
 Fig. 23. The texture of French fries as depended on the concentration of pectins solution which used to blanching

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że blanszowanie krajanki w roztworach pektyn miało wpływ na kształtowanie cech organoleptycznych produktu i zawartość AA we frytkach po I i II stopniu smażenia. Wraz ze wzrostem stężenia pektyn w roztworze blanszującym z 1 do 4% istotnemu obniżeniu uległa zawartość tłuszczu w półprodukcie i gotowych frytkach. Zastosowanie 4% roztworu pektyn do blanszowania istotnie obniżyło ilość tłuszczu w półprodukcie (o około 70%) oraz w gotowych frytkach (o około 59%) w porównaniu z próbą kontrolną. Zastosowanie nawet 1% roztworu pektyny już istotnie redukowało zawartość tłuszczu w badanych próbach (we frytkach po I stopniu smażenia o około 24%, a we frytkach po II stopniu smażenia o około 21%).

Wyższe stężenie pektyn w roztworze blanszującym zwiększyło również twardość frytek, pogorszyło barwę (ciemniejsza) prób oraz podwyższyło ilość AA w gotowym produkcie. Frytki sporządzone z krajanki blanszowanej w 1 i 2% roztworze pektyn charakteryzowały się właściwą teksturą – była ona korzystniejsza w porównaniu z próbą kontrolną i blanszowaną w 4% roztworze pektyn (zbyt twarda).

Wzrost stężenia pektyn w roztworze miał wpływ na zwiększenie ilości cukrów redukujących w blanszowanej krajance. Przy zastosowaniu 4% roztworu pektyn ich ilość była o około 32% wyższa niż w próbie kontrolnej. Zwiększenie ilości cukrów w roztworze blanszującym, a tym samym w krajance, powodowało pogorszenie barwy gotowego produktu oraz zwiększenie zawartości akrylamidu. Zastosowanie 4% roztworu pektyn zwiększyło ilość toksycznego związku we frytkach do poziomu $735 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ – w porównaniu z próbą kontrolną ($335 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) o ponad połowę. Pod względem zawartości cukrów redukujących w krajance ilości wytworzonego AA w gotowym produkcie oraz jego barwy zdecydowanie korzystniejsze było zastosowanie do blanszowania 1% roztworu pektyn w porównaniu ze stężeniami 2 i 4%.

4.4. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt dodatku pektynolitycznego preparatu enzymatycznego do blanszowania

W poszukiwaniu nowych rozwiązań w procesie produkcji frytek mających na celu uzyskanie odpowiednich cech organoleptycznych gotowego produktu oraz ewentualne obniżenie zawartości akrylamidu wprowadzono do blanszowania krajanki ziemniaczanej sporządzonej z ziemniaków odmiany „Innovator” dodatek pektynolitycznego preparatu enzymatycznego.

Ocenę wpływu pektynolitycznego preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) na wybrane właściwości frytek (zawartość tłuszczu, teksturę i barwę oraz zawartość w nich akrylamidu) przeprowadzono przy użyciu blanszowania krajanki ziemniaczanej z dodatkiem trzech różnych ilości tego preparatu (ilości zamieszczone w metodyce pracy i tab. 5). Samo zastosowanie do blanszowania preparatu (Pectinex Ultra SP-L), a także zróżnicowanie jego ilości miało na celu określenie jego wpływu na jakość frytek wraz ze wskazaniem odpowiedniej ilości stosowanej do blanszowania. Wyniki porównano z próbą kontrolną, blanszowaną w wodzie bez dodatku preparatu.

Oznaczenie zawartości suchej masy frytek po I i II stopniu smażenia wykonano w celu skontrolowania równomiernego wysmażenia prób – wynosiła ona w półprodukcie średnio 31,14%, a w gotowych frytkach 51,80% (tab. 5).

Tabela 5
Table 5

Zawartość suchej masy i tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia, w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania
Dry matter and fat content in French fries after I i II stage of frying, as depended of quantity the enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution

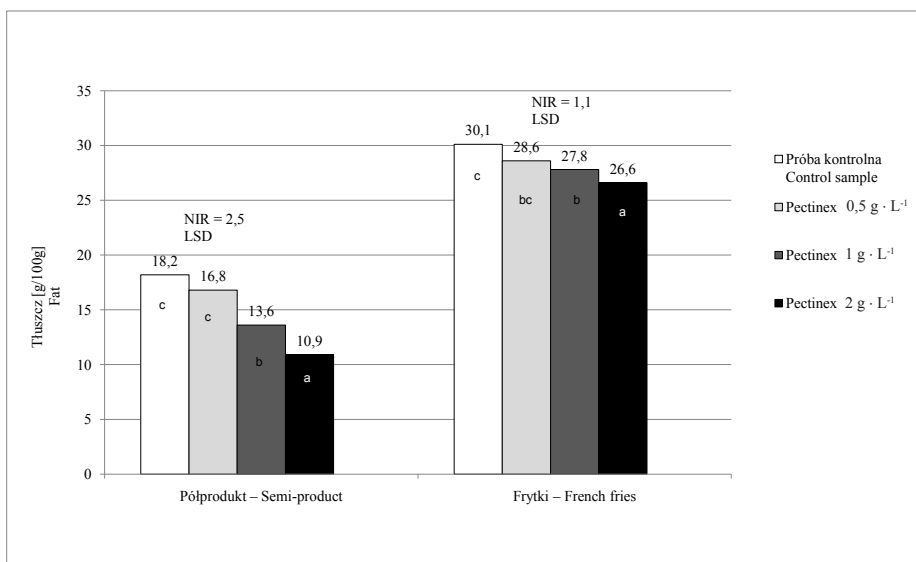
Próba Sample	Frytki po I ^o smażenia French fries after I ^o of frying		Frytki po II ^o smażenia French fries after II ^o of frying	
	Sucha masa [%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat	Sucha masa [%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat
PK CS Dodatek preparatu Addition of preparation:				
0,5g · L ⁻¹	32,74±0,02	5,95±0,06 d	53,25±0,02	16,01±0,04 c
1g · L ⁻¹	31,15±0,03	5,24±0,03 c	52,50±0,02	15,01±0,03 bc
2g · L ⁻¹	30,68±0,02	4,17±0,04 b	51,23±0,01	14,23±0,04 ab
	30,02±0,02	3,28± 0,03 a	50,25±0,03	13,35±0,03 a
Średnia próby Mean value	31,14	4,66	51,80	14,65
NIR zawartości tłuszczu LSD of fat content		0,69		1,20

a, b, c – istotne różnice wyników dodatku preparatu ($p \leq 0,05$)
a, b, c – significant differences among results of addition of preparation ($p \leq 0,05$)
Odchylenie standardowe \pm SD – standard deviation \pm SD; n=9
NIR – najmniejsza istotna różnica – LSD – least significant difference
PK – próba kontrolna – CS – control sample

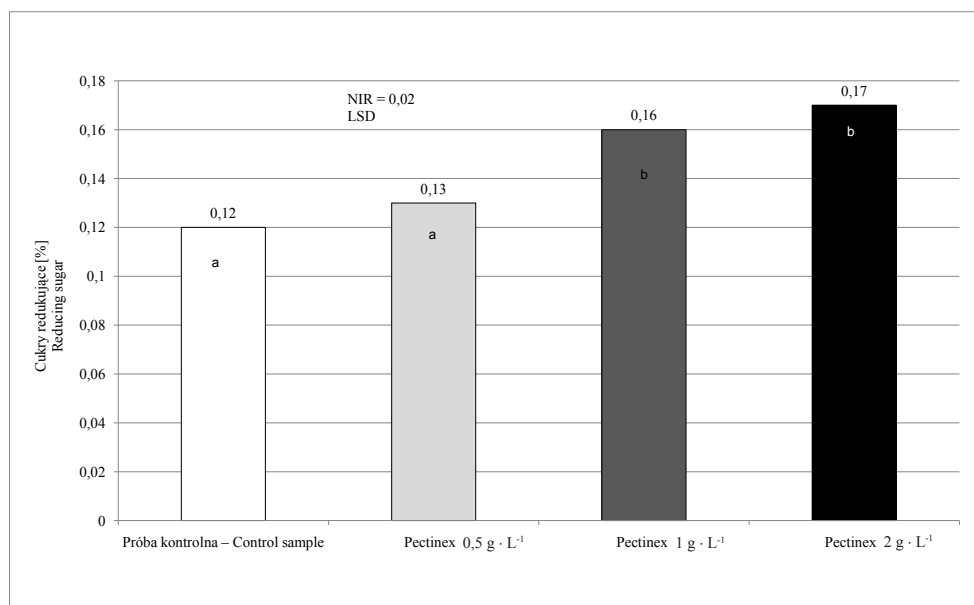
Blanszowanie krajanki ziemniaczanej w roztworze Pectinex Ultra SP-L miało wpływ na istotne obniżenie zawartości tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia (tab. 5) w porównaniu z próbą kontrolną. Wraz ze wzrostem ilości preparatu zawartość tłuszczu w półprodukcie i gotowych frytkach (w przeliczeniu na 100 g s.m.) istotnie się zmniejszała (odpowiednio o 8–40% oraz 5–12%) w porównaniu z próbą kontrolną (rys. 24).

Krajanka blanszowana w roztworze z dodatkiem preparatu Pectinex Ultra SP-L zawierała większą ilość cukrów redukujących (rys. 25), co miało istotny wpływ na wzrost ilości AA (rys. 26) w półprodukcie i w gotowych frytkach w porównaniu z próbą kontrolną. Dodatek 0,5 g·L⁻¹ preparatu do blanszowania zwiększył ilość cukrów redukujących w krajance zaledwie do 0,13% z 0,12% – próba kontrolna (rys. 25), a to spowodowało zwiększenie zawartości AA we frytkach jedynie do 369 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ z 319 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ – próba kontrolna (rys. 26), które nie było statystycznie istotne. Dodatek największej ilości preparatu enzymatycznego (2 g·L⁻¹) do blanszowania spowodował istotne podwyższenie zawartości AA w półprodukcie (do 43 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ z 29 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), a w gotowych frytkach do 610 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ z 319 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (rys. 26).

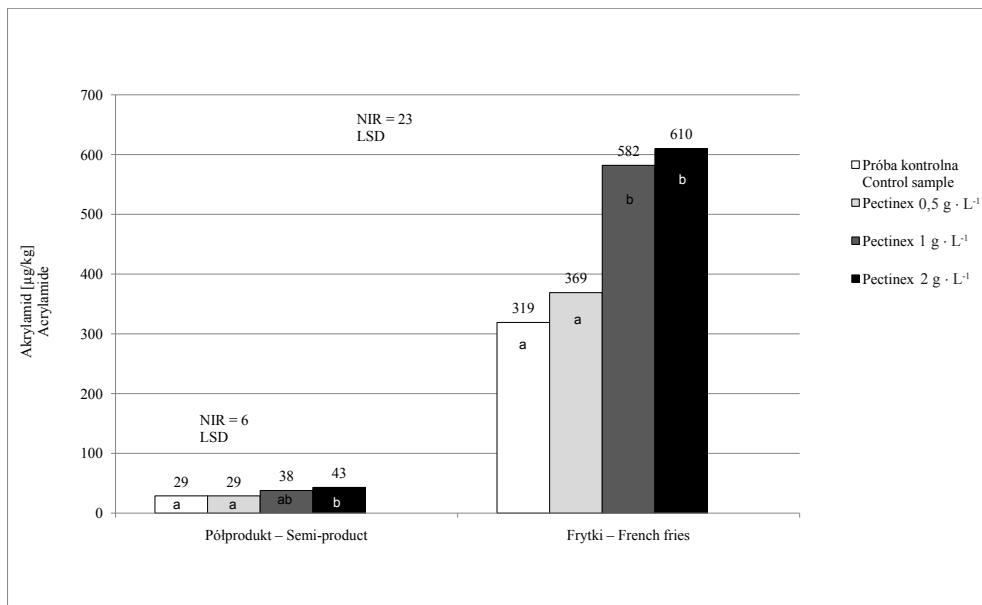
Barwa gotowego produktu (rys. 27) była ciemniejsza przy zwiększonej ilości zastosowanego preparatu enzymatycznego do blanszowania i wyższym poziomie cukrów redukujących w krajance. Przy zawartości cukrów redukujących w krajance wynoszącej 0,12% (próba kontrolna) odczyt wartości „L” barwy frytek wynosił 63,7, a przy zawartości cukrów wynoszącej 0,17% (dodatek preparatu 2 g·L⁻¹) – wartość „L” była równa 53. Barwa frytek otrzymanych z krajanki blanszowanej z dodatkiem 0,5 g·L⁻¹ preparatu była zbliżona (L = 60,4) do barwy frytek próby kontrolnej.



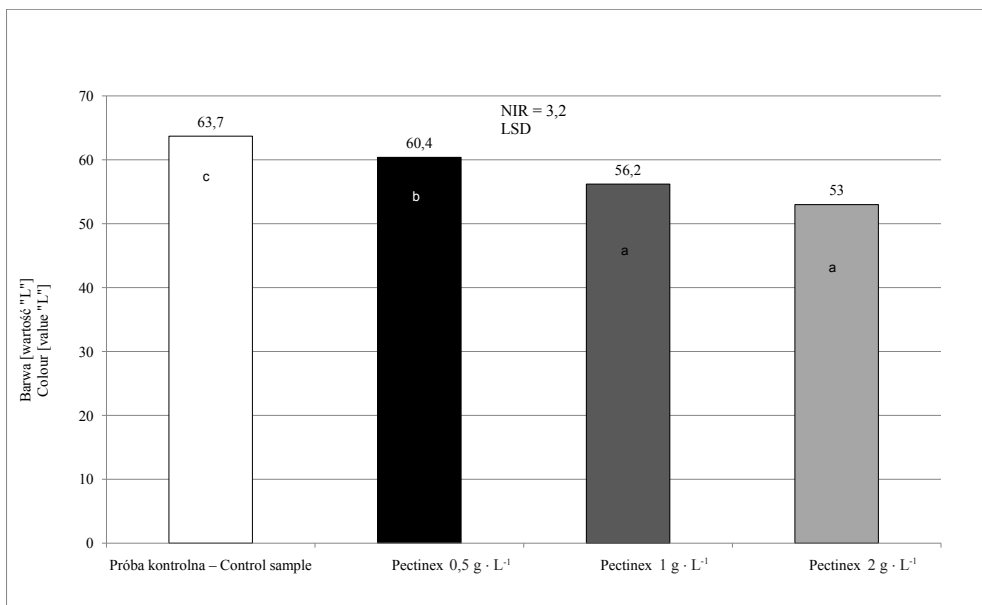
Rys. 24. Zawartość tłuszczu (w przeliczeniu na 100 g s.m.) w półprodukcie i w gotowych frytkach w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania
 Fig. 24. The fat (in 100 g d.m.) content in semi-product and French fries as depended on amount of enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution



Rys. 25. Zawartość cukrów redukujących w krajance w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania
 Fig. 25. The reducing sugar content in potato strips as depended on amount of enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution

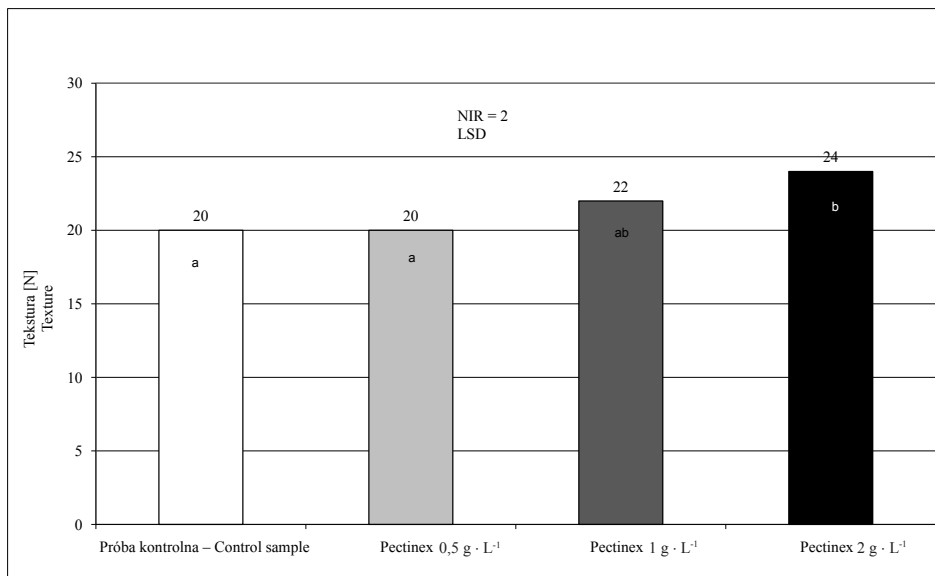


Rys. 26. Zawartość akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania
 Fig. 26. The acrylamide content in French fries as depended on amount of enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution



Rys. 27. Barwa (wartość „L”) frytek w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania
 Fig. 27. The French fries colour (value "L") as depended on amount of enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution

Frytki o prawidłowej teksturze (20 N) sporządzono z krajanki blanszowanej z dodatkiem $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ oraz bez dodatku preparatu enzymatycznego (rys. 28). Blanszowanie krajanki ziemniaczanej w roztworze z dodatkiem $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu Pectinex Ultra SP-L wpłynęło na pogorszenie tekstury (24 N) gotowego produktu, który był zbyt twardy.



Rys. 28. Tekstura frytek w zależności od ilości preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) dodanego do blanszowania

Fig. 28. The texture of French fries as depended on amount of enzymatic preparation (Pectinex Ultra SP-L) which added to blanching solution

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że dodatek preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania krajanki miał wpływ na jakość frytek. Wzrost ilości dodanego do blanszowania preparatu enzymatycznego z $0,5$ do $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ powodował zmniejszenie zawartości tłuszczu w półprodukcie o 8–40%, natomiast w gotowych frytkach o 5–12% w porównaniu z próbą bez dodatku preparatu. Dodany do blanszowania krajanki preparat enzymatyczny przyczynił się do zwiększenia w niej zawartości cukrów redukujących. Przy podwyższeniu dawki preparatu z $0,5$ do $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ilość cukrów w krajance zwiększyła się z $0,13$ do $0,17\%$. Zwiększenie poziomu cukrów redukujących w krajance wpłynęło na pogorszenie barwy gotowego produktu i podwyższenie zawartości AA w usmażonych próbach. Preparat dodany do blanszowania w ilości $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ podwyższył poziom akrylamidu w półprodukcie do $43 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i w gotowych frytkach do $610 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ w porównaniu z próbą kontrolną (kolejno z $29 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ i z $319 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Dodatek $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu w niewielkim stopniu zwiększył ilość cukrów redukujących w krajance w porównaniu z próbą kontrolną. Umożliwił jednak zachowanie dobrej barwy gotowego produktu oraz zwiększył ilość AA we frytkach w niewielkim stopniu. Najmniejsza ilość preparatu dodanego do blanszowania krajanki miała wpływ na poprawę tekstury frytek, natomiast najwyższa jego ilość $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ istotnie zwiększała twardość gotowego produktu. Użycie do blanszowania krajanki preparatu enzymatycznego w ilości $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ miało korzystniejszy wpływ na wybrane cechy organoleptyczne frytek i zawartość akrylamidu w porównaniu z wyższym dodatkiem tego preparatu.

4.5. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt podsuszania krajanki ziemniaczanej

Proces konwekcyjnego podsuszania krajanki po blanszowaniu stosowany jest w zakładach produkujących frytki i stanowi kolejny istotny etap technologiczny mający wpływ na właściwości frytek.

W pracy stosowano podsuszanie konwekcyjne i podsuszanie mikrofalowo-próżniowe krajanki ziemniaczanej sporządzonej z ziemniaków odmiany „Innovator” po blanszowaniu i określono ich wpływ na zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich barwę i konsystencję. Wyniki badań porównano z próbą kontrolną niepodsuszaną.

Tabela 6
Table 6

Zawartość suchej masy i tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia w zależności od metody podsuszania
Dry matter and fat content in French fries after I and II stage of frying, as depended on methods of pre-drying

Próba Sample	Stopień podsuszania krajanki [%] Pre-drying steps of potato strip	Sucha masa krajanki [%] Dry matter of potato strips	Frytki po I° smażenia French fries after I° of frying		Frytki po II° smażenia French fries after II° of frying	
			Sucha masa[%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat content	Sucha masa [%] Dry matter	Tłuszcz [%] Fat content
PK – CS	0	21	28,92±0,02	3,11±0,04c	55,50±0,02	11,10±0,05d
Metoda mikrofalowo- -próżniowa (480W) Vacuum-microwave metod (480W)	1	22	30,76±0,03	3,02±0,05c	58,07±0,02	10,73±0,05c
	2	23	30,90±0,01	2,94±0,03c	61,75±0,02	9,66±0,04b
	3	24	33,40±0,02	2,57±0,03b	62,95±0,01	9,35±0,02b
	4	25	34,29±0,02	2,22±0,04a	64,23±0,01	8,71±0,03a
Średnia stopnia podsuszania Mean of pre-drying steps				2,77A		9,91A
NIR stopnia podsuszania LSD pre-drying steps				0,25		0,31
PK – CS	0	21	28,92±0,02	3,11±0,05c	55,50±0,03	11,10± 0,03d
Metodą konwekcyjną Convective metod	1	22	29,88±0,01	3,11±0,03b	57,34±0,02	10,91±0,05b
	2	23	31,55±0,03	3,10±0,02b	59,27±0,01	10,73±0,04ab
	3	24	32,67±0,03	3,08±0,03ab	61,27±0,01	10,66±0,05a
	4	25	35,95±0,03	2,81±0,03a	62,61±0,02	10,31±0,04a
Średnia stopnia podsuszania Mean of pre-drying steps				3,04B		10,74B
NIR stopnia podsuszania LSD pre-drying steps				0,27		0,69
Średnia metod podsuszania Mean of pre-drying steps				2,90		10,32
NIR – metody podsuszania LSD – of pre-drying method				0,25		0,75

a, b, c – istotne różnice wyników stopnia podsuszania ($p \leq 0,05$)

a, b, c – significant differences among results of pre-drying steps ($p \leq 0,05$)

A, B – istotne różnice wyników w metodzie podsuszania ($p \leq 0,05$)

A, B – significant differences among results of pre-drying metod ($p \leq 0,05$)

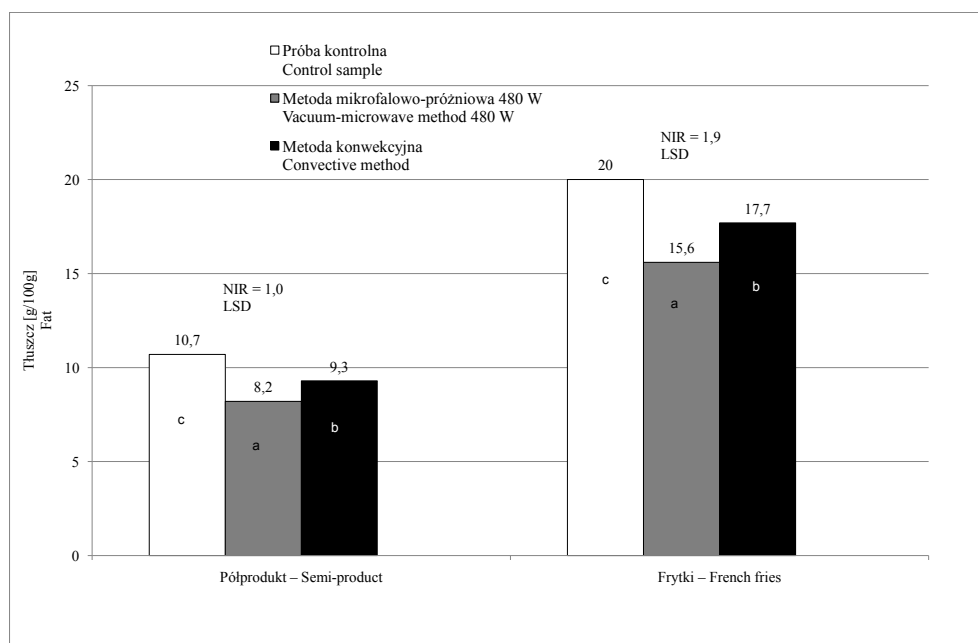
Odchylenie standardowe±SD; standard deviation ±SD; n=9

NIR – najmniejsza istotna różnica – LSD – least significant difference

PK – próba kontrolna – CS – control sample

Podsuszanie krajanki (odwodnienie o 1–4%) w procesie otrzymywania frytek miało istotny wpływ na obniżenie zawartości tłuszczu w półprodukcie i w gotowych frytkach – zarówno po zastosowaniu metody mikrofalowo-próżniowej, jak i konwekcyjnej. Podsuszenie krajanki ziemniaczanej w zakresie od 21 do 25% suchej masy, istotnie zmniejszyło zawartość tłuszczu w półprodukcie podsuszonym metodą mikrofalowo-próżniową (o około 29%), a metodą konwekcyjną o około 10%. W gotowych frytkach podsuszanych metodami mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną odpowiednio o około 22 i 7% (tab. 6).

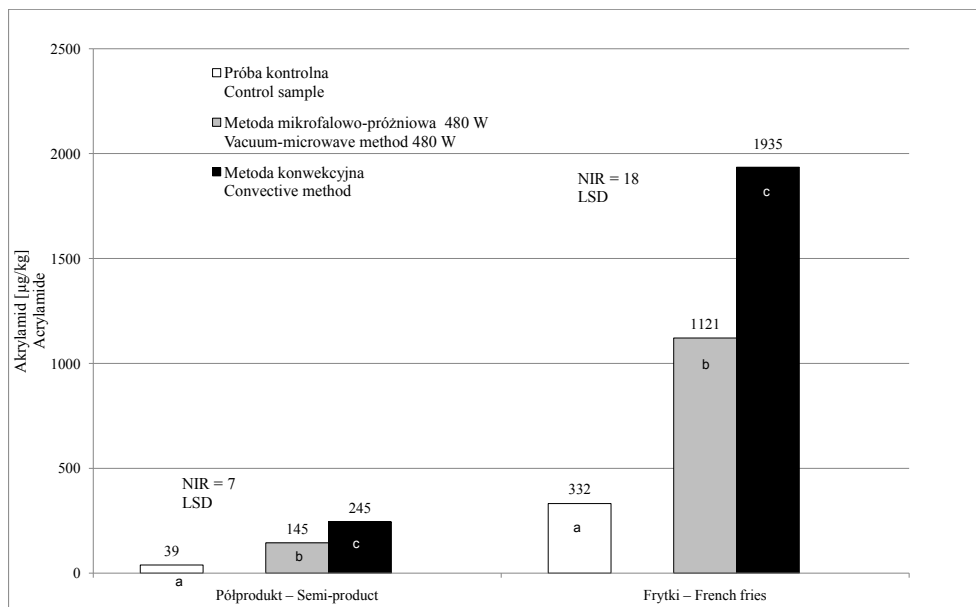
Porównując wpływ podsuszania krajanki metodami mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną na obniżenie zawartości tłuszczu, stwierdzono, że lepszy efekt można uzyskać przy użyciu metody mikrofalowo-próżniowej. Frytki otrzymane z krajanki podsuszanej metodą mikrofalowo-próżniową zawierały istotnie mniej tłuszczu o około 22% – w przeliczeniu na 100 g s.m. (rys. 29) w porównaniu z próbą kontrolną, natomiast podsuszane konwekcyjnie – o około 12% mniej.



Rys. 29. Zawartość tłuszczu (w przeliczeniu na 100 g s.m.) w półprodukcie i w gotowych frytkach w zależności od metody podsuszania (średnia stopnia podsuszania)

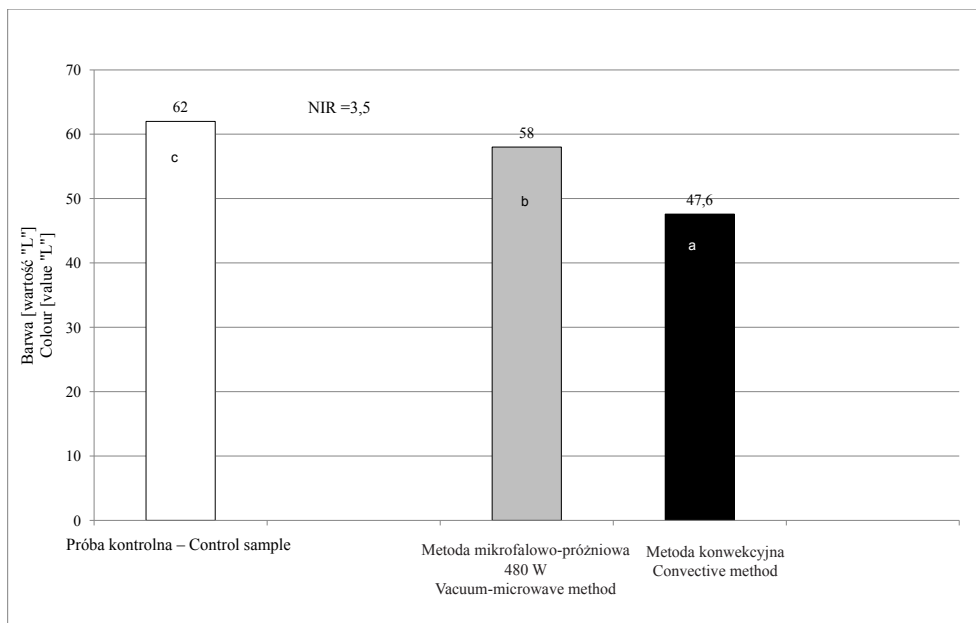
Fig. 29. The fat content (in 100 g d.m.) in semi-product and French fries as depended on pre-drying methods (mean of pre-drying steps)

Podsuszanie krajanki ziemniaczanej przed smażeniem istotnie podwyższało zawartość akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach (rys. 30). Frytki po I stopniu smażenia podsuszane metodą mikrofalowo-próżniową zawierały prawie cztery razy więcej akrylamidu ($145 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), a metodą konwekcyjną prawie sześć razy więcej ($245 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) niż w próbie niepodsuszanej. Natomiast gotowe frytki z próby podsuszanej metodą mikrofalowo-próżniową zawierały $1121 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ akrylamidu, a metodą konwekcyjną – $1935 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (w mikrofalowo-próżniowej trzy razy i w konwekcyjnej sześć razy więcej w porównaniu z frytkami próby niepodsuszanej).



Rys. 30. Zawartość akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach w zależności od metody podsuszania (średnia stopnia podsuszania)

Fig. 30. The acrylamide content in semi-product and French fries as depended on pre-drying methods (mean of pre-drying steps)

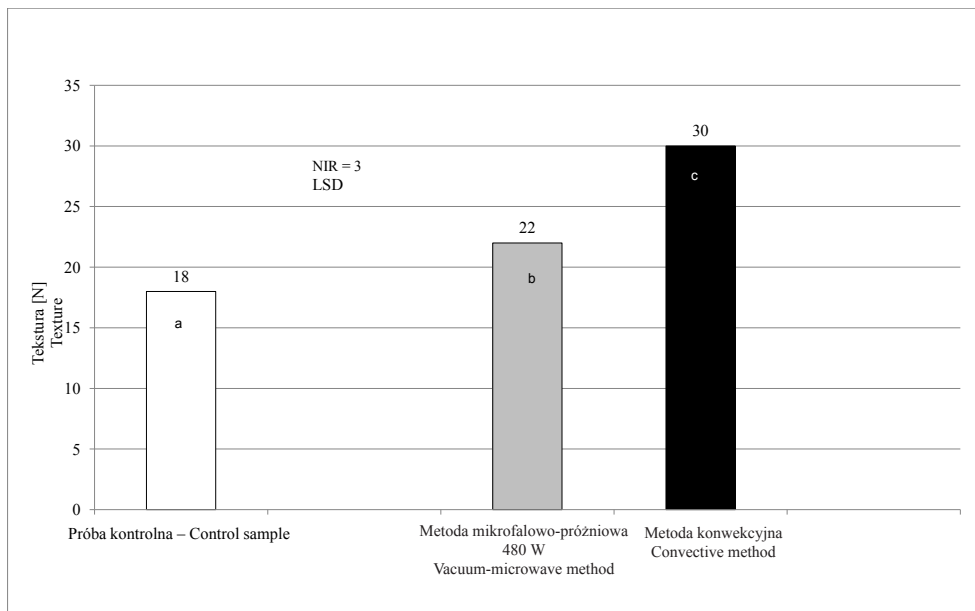


Rys. 31. Barwa (wartość „L”) frytek w zależności od metody podsuszania (średnia stopnia podsuszania)

Fig. 31. The French fries colour (value "L") as depended on pre-drying methods (mean of pre-drying steps)

Barwa frytek sporządzonych z krajanki niepodsuszonej była prawidłowa – wartość „L” wynosiła 62, a podsuszonej metodą mikrofalowo-próżniową była istotnie ciemniejsza – wartość „L” 58 (rys. 31). Natomiast barwa gotowego produktu sporządzonego z krajanki podsuszonej metodą konwekcyjną była istotnie ciemniejsza niż pozostałych dwóch prób (wartość „L” = 47,6).

Podsuszanie krajanki metodą mikrofalowo-próżniową istotnie poprawiło teksturę frytek (22 N) w porównaniu z próbą niepodsuszaną (18 N), natomiast frytki z krajanki podsuszonej metodą konwekcyjną były zbyt twarde (30 N) (rys. 32).



Rys. 32. Tekstura frytek w zależności od metody podsuszenia (średnia stopnia podsuszenia)
Fig. 32. The texture of French fries as depended on pre-drying methods (mean of pre-drying steps)

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że podsuszanie krajanki ziemniaczanej metodą mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną miało istotny wpływ na obniżenie ilości tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia. Zastosowanie metody mikrofalowo-próżniowej spowodowało zmniejszenie jego zawartości w gotowych frytkach o około 22%, a przy metodzie konwekcyjnej o około 12% w porównaniu z próbą kontrolną. Podsuszanie mikrofalowo-próżniowe krajanki ziemniaczanej istotnie poprawiło konsystencję frytek, natomiast konwekcyjne istotnie zwiększyło twardość gotowego produktu.

Zależność pomiędzy barwą frytek a zawartością w nich akrylamidu widoczna była po podsuszeniu krajanki. Podsuszanie konwekcyjne znacznie pogorszyło barwę frytek. Zastosowanie zaś metody mikrofalowo-próżniowej pozwoliło na zachowanie dobrej barwy gotowego produktu.

Podsuszanie krajanki ziemniaczanej miało istotny wpływ na zwiększenie ilości AA we frytkach (po I i II stopniu smażenia) w porównaniu z próbą niepodsuszaną. Użycie metody konwekcyjnej spowodowało znaczne zwiększenie zawartości akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach, w porównaniu z próbą kontrolną oraz metodą mikrofalowo-próżniową. Podsuszanie prowadzone metodą mikrofalowo-próżniową miało korzystniejszy wpływ na jakość frytek w porównaniu z podsuszaniem konwekcyjnym.

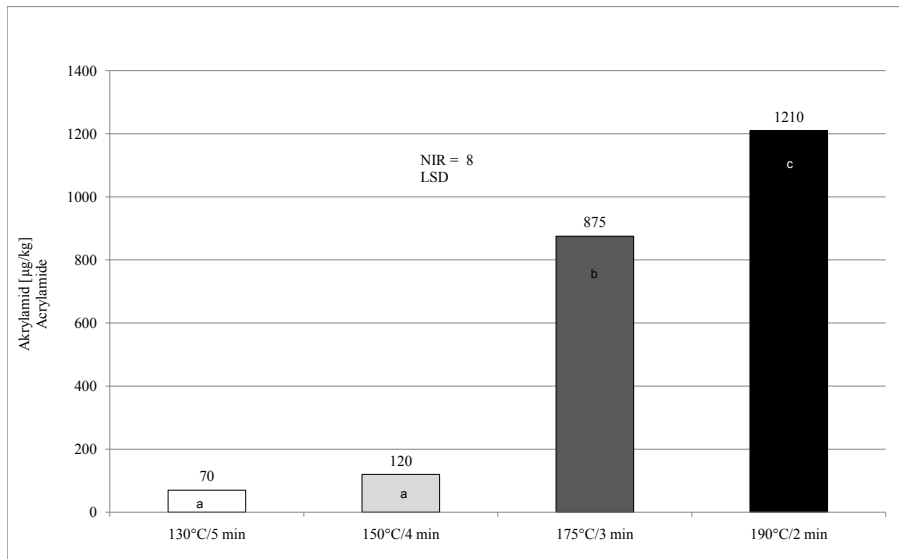
4.6. Zawartość tłuszczu i akrylamidu we frytkach oraz ich tekstura i barwa jako efekt wpływu temperatury i czasu smażenia

W trakcie procesu smażenia krajanki ziemniaczanej ukształtowane zostają ostatecznie cechy organoleptyczne gotowych frytek oraz tworzy się akrylamid. Wyznaczenie odpowiednich parametrów smażenia może mieć istotny wpływ na ilość AA powstającego w końcowym etapie smażenia oraz na zawartość tłuszczu we frytkach, ich teksturę i barwę.

Ocenę wpływu smażenia krajanki ziemniaczanej na wybrane cechy jakości frytek – zawartość tłuszczu, akrylamidu, teksturę oraz barwę przeprowadzono przy zastosowaniu odpowiednio dobranego czasu i temperatury smażenia (zamieszczone w metodyce pracy). Wyznaczenie odpowiednich warunków procesu powinno mieć wpływ na poprawę wybranych cech organoleptycznych frytek oraz na zawartość akrylamidu.

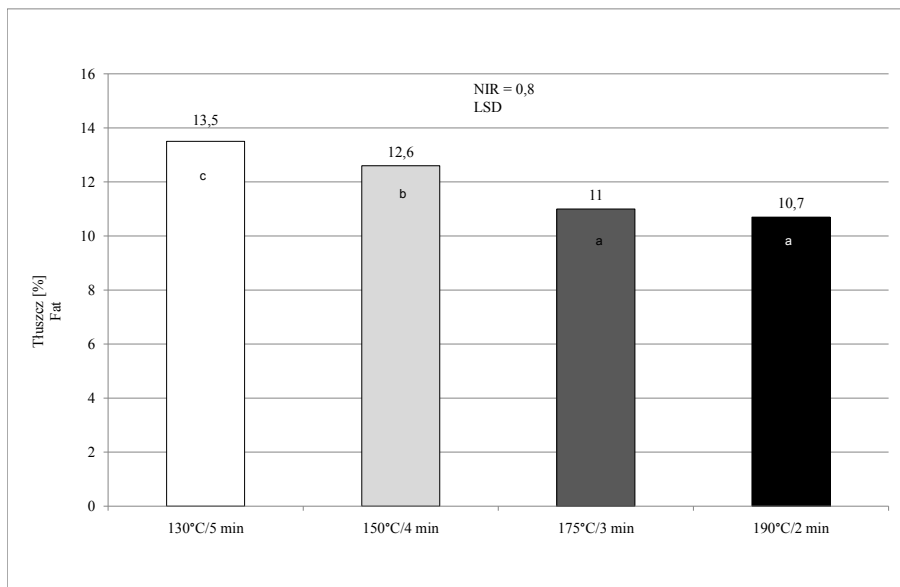
Do badań użyto frytek po I stopniu smażenia wyprodukowanych w zakładzie produkcyjnym McCain z ziemniaków odmiany „Innovator” o wymiarach (0,7 x 0,7 cm i długości 6–7 cm). Frytki zawierały 32,6% suchej masy i 4,2% tłuszczu. Oznaczona w laboratorium zawartość akrylamidu w półprodukcie wynosiła $40 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Podniesienie temperatury smażenia powyżej 150°C ($423,15 \text{ K}$) istotnie zwiększyło zawartość akrylamidu we frytkach (rys. 33). Podwyższenie temperatury oleju do 190°C ($463,15 \text{ K}$) spowodowało znaczny wzrost zawartości AA (do $1210 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w porównaniu z frytkami smażonymi w temperaturze 130°C ($403,15 \text{ K}$). Półprodukt smażony w oleju o temperaturze 175°C ($448,15 \text{ K}$) zawierał o około 28% ($875 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) mniej akrylamidu w porównaniu z próbami smażonymi w 190°C ($463,15 \text{ K}$).

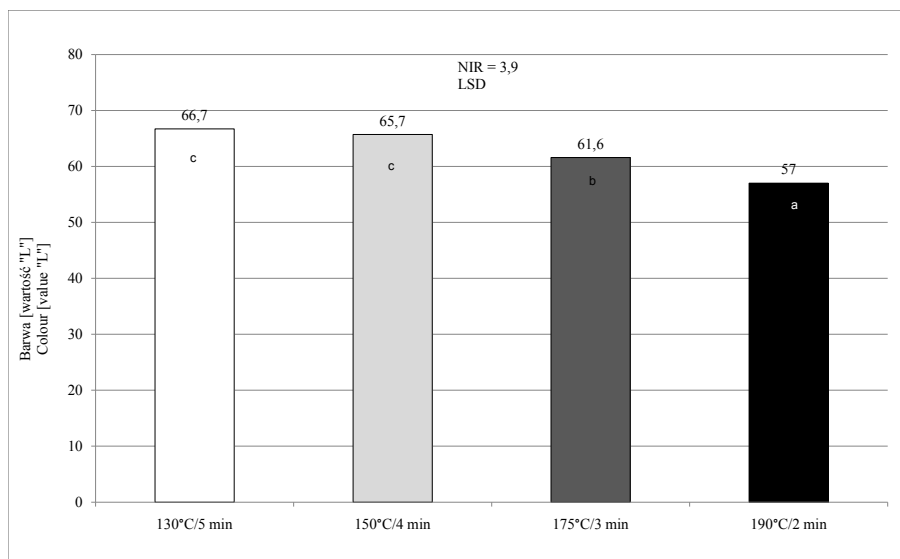


Rys. 33. Zawartość akrylamidu we frytkach w zależności od czasu i temperatury smażenia
Fig. 33. The acrylamide content in French fries as depended on time and temperature of frying

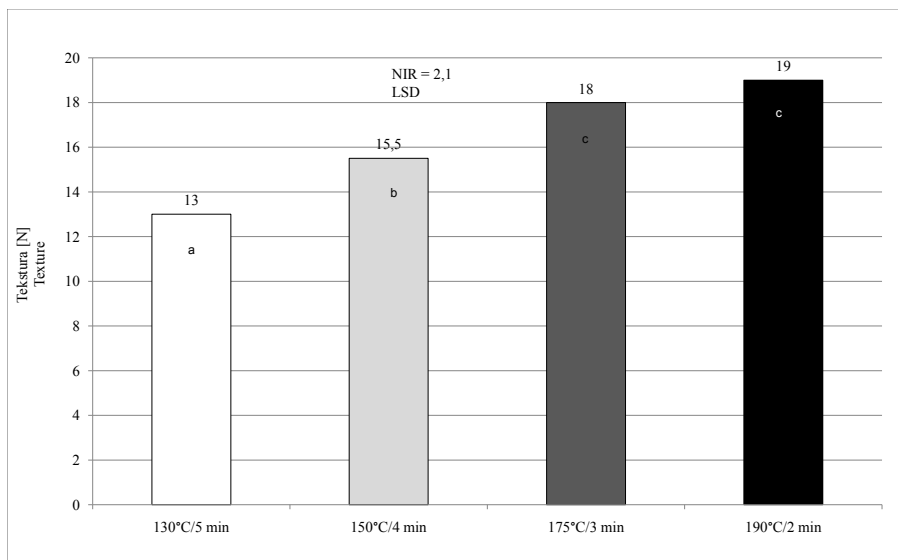
Zawartość tłuszczu we frytkach zależała od temperatury smażenia (rys. 34). Zastosowanie wyższej temperatury oleju miało istotny wpływ na obniżenie zawartości tłuszczu w gotowym produkcie. Frytki smażone w temperaturze 175°C (448,15 K) zawierały o około 18% tłuszczu mniej niż smażone w 130°C (403,15 K), a w 190°C (463,15 K) o około 21% mniej badanego składnika.



Rys. 34. Zawartość tłuszczu we frytkach w zależności od czasu i temperatury smażenia
 Fig. 34. The fat content in French fries as depended on time and temperature of frying



Rys. 35. Barwa (wartość „L”) frytek w zależności od czasu i temperatury smażenia
 Fig. 35. The French fries colour (value „L”) as depended on time and temperature of frying



Rys. 36. Tękstura frytek w zależności od czasu i temperatury smażenia
 Fig. 36. The texture of French fries as depended on time and temperature of frying

Na podstawie wyników uzyskanych w powyższej części badań stwierdzono, że zawartość tłuszczu we frytkach zależała od temperatury i czasu smażenia – wraz ze wzrostem temperatury procesu ilość tłuszczu we frytkach istotnie obniżała się. Próby smażone w oleju o temperaturze 175°C (448,15 K) zawierały o około 18%, a w 190°C (463,15 K) o około 21% tłuszczu mniej niż smażone w temperaturze 130°C (403,15 K). Wzrost temperatury smażenia prób do 175°C (448,15 K) i 190°C (463,15 K) umożliwił uzyskanie prawidłowej tękstury frytek. Barwa frytek kształtowana jest w czasie smażenia, stąd też próby otrzymane po zastosowaniu temperatury 190°C (463,15 K) charakteryzowały się zbyt ciemną barwą, odpowiednią natomiast frytki smażone w zakresie temperatur od 130 (403,15 K) do 175°C (448,15 K). Pogorszenie barwy frytek następuje wraz ze wzrostem zawartości AA. Podwyższanie temperatury smażenia ze 130 (403,15 K) do 190°C (463,15 K) miało istotny wpływ na zwiększenie ilości akrylamidu we frytkach (z 70 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 1 210 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Jednak obniżenie temperatury smażenia półproduktu ze 190 (463,15 K) do 175°C (448,15 K) istotnie zmniejszyło ilość AA we frytkach (o około 28%).

Cechy organoleptyczne frytek uzyskanych po smażeniu w oleju o temperaturze 175°C (448,15 K) były najkorzystniejsze, ale ze względu na poziom akrylamidu powinny być podejmowane próby dalszego obniżenia temperatury.

Barwa frytek smażonych w oleju o temperaturze od 130 (403,15 K) do 175°C (448,15 K) była odpowiednia (wartości "L" od 66,7 do 61,8), natomiast barwa prób smażonych w 190°C (463,15 K) była już zbyt ciemna – wartość "L" = 57 (rys. 35).

Tękstura gotowego produktu zależała od parametrów smażenia (rys. 36). Wraz z podwyższaniem temperatury oleju polepszała się tękstura frytek. Frytki o dobrej tęksturze otrzymano po smażeniu w oleju o wyższych temperaturach (175°C – 448,15 K i 190°C – 463,15 K). Natomiast próby smażone w temperaturze poniżej 150°C (423,15 K) były zbyt miękkie i miały oleistą tęksturę.

5. DYSKUSJA

Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że zastosowane odmiany ziemniaków oraz wprowadzone modyfikacje parametrów w procesie technologicznym otrzymywania frytek w różnym stopniu wpływają na ich jakość. Niektóre z zastosowanych procesów umożliwiły wyraźną poprawę takich cech jakości produktu jak: ilość tłuszczu, tekstura, barwa, ale równocześnie powodowały wzrost ilości wytworzonego akrylamidu.

Ważnym wyróżnikiem jakości frytek jest zawartość tłuszczu, na którą konsumenci zwracają szczególną uwagę. Użycie w procesie technologicznym produkcji frytek blanszowania w roztworze pektyn lub z dodatkiem pektynolitycznego preparatu enzymatycznego oraz zmiana warunków procesu podsuszania i smażenia miały wpływ na zawartość tłuszczu we frytkach.

Obniżenie zawartości tłuszczu w gotowym produkcie możliwe jest po blanszowaniu krajanki w wodzie, które powoduje między innymi proces kleikowania skrobi na powierzchni ziemniaka oraz prowadzi do utworzenia warstwy „osłonowej” lub „filmu”. Warstwy te mogą chronić powierzchnię smażonego ziemniaka przed nadmiernym wnikaniem oleju [Lisińska, Plizga 1992; Aguilera, Gloria-Hernández 2000; Taubert i in. 2004]. Blanszowanie to pierwszy z termicznych etapów procesu otrzymywania frytek. Istnieje możliwość zastosowania różnych metod blanszowania pokrojonych ziemniaków. Proces ten może przebiegać w wodzie oraz w różnych roztworach, można stosować zanurzanie prób w wodzie lub też zanurzanie krajanki ziemniaczanej po blanszowaniu w roztworach osłonowych. Jednym z takich rozwiązań jest blanszowanie krajanki ziemniaczanej w roztworze pektyn [Khalil 1999], które stanowią jedną z frakcji substancji pektynowych [BeMiller 1986; Garncarek 1995; Voragen i in. 2009]. Pektyny są to rozpuszczalne w wodzie kwasy poligalakturonowe, które po rozpuszczeniu w wodzie tworzą roztwory o podwyższonej lepkości [Kączkowski 1995, Fennema i in. 1996].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zwiększenie ilości pektyn w roztworze blanszującym w zakresie 1–4% istotnie obniżyło zawartość tłuszczu we frytkach po I i II stopniu smażenia. Użyty do blanszowania krajanki 4% roztwór pektyn wpłynął na zredukowanie o około 70% ilości tłuszczu w półprodukcie i o około 59% w gotowych frytkach. Natomiast zastosowanie 1% roztworu pektyn obniżyło zawartość tłuszczu w półprodukcie o około 24%, a we frytkach o około 21% w porównaniu z próbą kontrolną. Khalil [1999] oraz Mellema [2003] stwierdzili, że zastosowanie do blanszowania krajanki ziemniaczanej roztworu pektyn wyraźnie obniżyło zawartość tłuszczu we frytkach w porównaniu z próbami blanszowanymi w wodzie. Khalil [1999] podaje, że blanszowanie krajanki w 5% roztworze pektyn z dodatkiem 0,5% chlorku wapnia obniżyło ilość tłuszczu w gotowym produkcie o około 40% w porównaniu z frytkami próby kontrolnej. Natomiast blanszowanie krajanki w roztworach pektyn od 1 do 6% już bez dodatku chlorku wapnia obniżało zawartość tłuszczu we frytkach w zakresie od 1 do 16% [Khalil 1999]. Prawdopodobnie pektyny znajdujące się w roztworze

blanszującym wspomagają skleikowaną skrobię znajdującą się na powierzchni krajanki ziemniaczanej w tworzeniu dodatkowej „warstwy osłonowej”. W wyniku powstania takiej „osłony” prawdopodobnie na powierzchni smażonego ziemniaka tworzy się mniejsza ilość porów i w rezultacie zmniejszeniu ulega zawartość tłuszczu w półprodukcie i w gotowych frytkach.

W poszukiwaniu nowych rozwiązań technologicznych w procesie produkcji frytek do blanszowania krajanki zastosowano pektynolityczny preparat enzymatyczny Pectinex Ultra SP-L. Użycie dodatku tego preparatu do blanszowania krajanki ziemniaczanej stanowi nowatorski aspekt pracy. W literaturze brak jest do tej pory informacji dotyczących użycia preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania krajanki i określenia jego wpływu na kształtowanie zawartości AA w gotowym produkcie. Tym bardziej nie ma w literaturze danych na temat zastosowania tego preparatu do blanszowania krajanki i ilości powstającego akrylamidu we frytkach z równoczesnym oznaczeniem ich właściwości. Wstępne badania dotyczące wpływu dodania preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania krajanki na kształtowanie wybranych cech organoleptycznych frytek, tj. zawartości tłuszczu, tekstury, przeprowadzone zostały przez zespół pracowników Katedry Technologii Rolnej i Przechowalnictwa Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu i opublikowane przez autorów [Lisińska i in. 2007]. Inna była jednak ilość dodanego preparatu Pectinex Ultra SP-L opisanego w artykule [Lisińska i in. 2007] niż tego stosowanego w przedstawionej rozprawie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wzrost ilości dodatku preparatu Pectinex Ultra SP-L z $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ do $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ miał istotny wpływ na zmniejszenie zawartości tłuszczu w smażonym ziemniaku. W półprodukcie jego zawartość zmniejszyła się o 8–40%, natomiast w gotowych frytkach o 5–12% w porównaniu z próbą kontrolną (bez dodatku preparatu). Obniżenie zawartości tłuszczu we frytkach można tłumaczyć prawdopodobnie tym, że preparat użyty do blanszowania krajanki spowodował uszkodzenie ściany komórkowej na powierzchni ziemniaka. W wyniku tego doszło do utworzenia mniejszej ilości porów na powierzchni smażonej próby, a tym samym wpłynęło to na zmniejszenie zawartości tłuszczu w półprodukcie i w gotowych frytkach. Lisińska i in. [2007] podają, że zastosowanie preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania krajanki obniżyło zawartość tłuszczu o około 20% we frytkach po I i o około 10% we frytkach po II stopniu smażenia. Wielu autorów [Du Pont i in. 1992, Vitrac i in. 2000, Mellema 2003, van Loon i in. 2007] opisuje proces powstawania porów na powierzchni smażonego w oleju ziemniaka oraz aspekt chłonięcia tłuszczu, żaden jednak z nich nie stosował dodatku preparatu enzymatycznego do blanszowania krajanki.

Podsuszanie stanowi kolejny etap procesu technologicznego otrzymywania frytek. Prowadzi on do usunięcia nadmiaru wody z powierzchni krajanki i ma istotny wpływ na kształtowanie jakości gotowego produktu [Krokida i in. 2001b, d]. Podsuszanie prowadzone w odpowiednio dobranych parametrach procesu powinno wpływać na zmniejszenie chłonności oleju przez usmażony produkt. W czasie podsuszania produktu jego powierzchnia ulega „wysychaniu” i „marszczeniu”, co prawdopodobnie przyczynia się do utworzenia mniejszej ilości porów o mniejszym rozmiarze w czasie smażenia ziemniaka. Gamble i in. [1987] oraz van Loon i in. [2007] podają, że przy mniejszej ilości porów na powierzchni próby smażony produkt chłonie mniej oleju. Mniejsza ilość tłuszczu w smażonym produkcie, uprzednio podsuszonym, tłumaczona jest również częściową utratą wilgoci z powierzchni próby i związanym z tym skróceniem czasu smażenia [Krokida i in. 2001b, van Loon i in. 2007].

Proces podsuszania krajanki w zakładzie przetwórczym prowadzony jest metodą konwekcyjną, istnieje również próba użycia w laboratoriach metody mikrofalowej za pomocą różnej mocy magnetronów, połączenia obu metod lub metody mikrofalowo-próżniowej.

W pracy stwierdzono, że podsuszanie krajanki obniżyło zawartość tłuszczu w półprodukcie i w gotowych frytkach w porównaniu z próbami niepodsuszonymi. Mikrofalowe podsuszanie obniżyło zawartość tłuszczu we frytkach o około 22% w porównaniu z próbą kontrolną, a konwekcyjne o około 12% (przeliczenie na $g \cdot 100 g^{-1}$). Suszenie mikrofalowe umożliwia ogrzewanie materiału w całej jego masie i stanowi przewagę tej metody nad podsuszaniem konwekcyjnym [Jones 1992, Tajner-Czopek i in. 2007a, Tajner-Czopek i in. 2008b]. Dodatkową zaletą metody mikrofalowej jest skrócenie czasu suszenia, co ogranicza czas kontaktu suszonego materiału z tlenem w podwyższonej temperaturze i prowadzi do zmniejszenia negatywnych skutków jego działania [Drouzas, Schubert 1996]. Zastosowanie metody mikrofalowo-próżniowej wpływa na wyraźne obniżenie zawartości tłuszczu we frytkach w porównaniu z podsuszaniem konwekcyjnym [Tajner-Czopek i in. 2007b].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zawartość tłuszczu we frytkach związana była również z temperaturą procesu smażenia. Smażenie w niższej temperaturze ($130^{\circ}C - 403,15 K$) wymagało dłuższego przetrzymywania frytek w oleju i w rezultacie zawierały one największą ilość tłuszczu w porównaniu z pozostałymi próbami. Frytki smażone w oleju o temperaturze $175^{\circ}C$ ($448,15 K$) zawierały o około 18% tłuszczu mniej, a w $190^{\circ}C$ ($463,15 K$) o około 21% mniej niż smażone w temperaturze $130^{\circ}C$ ($403,15 K$).

Stwierdzono, że użyte w doświadczeniu blanszowanie krajanki ziemniaczanej w wodzie o różnej temperaturze i w różnym czasie oraz blanszowanie w roztworach pektyn o różnym stężeniu i z dodatkiem pektynolitycznego preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L, a także zastosowanie określonej metody podsuszania i różnej temperatury smażenia prób, miały wyraźny wpływ na teksturę frytek.

Dobór parametrów blanszowania umożliwia uzyskanie produktu odpowiedniej jakości oraz poprawę cech organoleptycznych frytek sporządzonych z surowca o składzie chemicznym odbiegającym od norm [Lisińska, Plizga 1992]. Abglor, Scalon [2000], Tajner-Czopek [2003] oraz Liu i Scalon [2007] podają, że proces blanszowania krajanki ziemniaczanej ma istotny wpływ między innymi na teksturę frytek.

Na podstawie badań stwierdzono, że blanszowanie krajanki ziemniaczanej poprawiło teksturę (o około 20 N) otrzymanych frytek w porównaniu z gotowym produktem próby kontrolnej, który był zbyt twardy (29 N – odmiana „Felsina” i 30 N – odmiana „Innovator”). Przy zastosowaniu wyższej temperatury i dłuższego czasu blanszowania krajanki frytki stawały się bardziej miękkie. Właściwą teksturą charakteryzowały się frytki sporządzone z krajanki blanszowanej w wodzie o temperaturze $60^{\circ}C$ ($333,15 K$) przez 15 minut oraz w temperaturze $80^{\circ}C$ ($353,15 K$) przez 5 minut.

Tekstura frytek zależy może również od rodzaju dodatków zastosowanych do blanszowania krajanki ziemniaczanej [Lisińska, Plizga 1992, Khahil 1999, Tajner-Czopek 2003, Tajner-Czopek, Lisińska 2004].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że blanszowanie krajanki ziemniaczanej z dodatkiem pektyn o zwiększającym się stężeniu (od 1 do 4%) zwiększyło twardość frytek w porównaniu z próbą kontrolną. Frytki sporządzone z krajanki blanszowanej z 1 i 2% dodatkiem pektyn charakteryzowały się właściwą teksturą (19–20 N) – była ona korzystniejsza w porównaniu z frytkami próby kontrolnej (17 N). Natomiast frytki zbyt twarde (24 N) otrzymano po zastosowaniu 4% stężenia pektyn.

Khalil [1999] podaje, że blanszowanie w roztworze pektyn miało wpływ na teksturę frytek. Podczas procesu technologicznego produkcji frytek pierwotne właściwości surowca zostają zmienione i następują nieodwracalne zmiany w strukturze komórkowej tkanki ziem-

niaka [Andersson i in. 1994, van Marle i in. 1997, Gołubowska, Lisińska 2004], które mają wpływ na teksturę frytek [Gołubowska, Lisińska 2003, Gołubowska 2005, Gołubowska, Lisińska 2005].

Stwierdzono, że blanszowanie krajanki ziemniaczanej z dodatkiem preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L miało również istotny wpływ na teksturę frytek. Wzrost ilości dodanego preparatu w zakresie od 2 do 4 g·L⁻¹ zwiększał istotnie twardość frytek w porównaniu z próbą kontrolną. Dodatek 0,5 g·L⁻¹ preparatu miał wpływ na wytworzenie prawidłowej tekstury gotowego produktu (20 N), natomiast 2 g·L⁻¹ statystycznie istotnie zwiększał twardość prób (22 N). Wzrost twardości frytek związany mógł być z oddziaływaniem preparatu Pectinex Ultra SP-L na pektyny. Pektyna jest najbardziej liczną frakcją spośród związków pektynowych, natomiast protopektyny w grupie tej jest mniej niż pektyny, lecz jest ona bardziej trwała, nierozpuszczającą się w wodzie [Jaswal 1991, Garncarek 1995]. Preparat enzymatyczny prawdopodobnie spowodował hydrolizę pektyn oraz zwiększył stopień ich wymycia z powierzchni krajanki, wraz ze wzrostem ilości dodanego do blanszowania preparatu. Przypuszczalnie po częściowym rozłożeniu pektyn właśnie frakcja protopektyny oraz pozostałych składników ściany komórkowej – polisacharydów nieskrobiowych tj. celuloza oraz niebędąca polisacharydem lignina, mogły mieć wpływ na zwiększenie twardości frytek. Wielu autorów Talbur i Smith [1987], Lisińska i Leszczyński [1989], Tajner-Czopek [2000, 2003], Abglor i Scanlon [2000], Tajner-Czopek i Lisińska [2004], Gołubowska [2005] oraz Gołubowska i Lisińska [2005] opisuje wpływ teksturotwórczych składników ściany komórkowej na kształtowanie tekstury gotowego produktu. Tajner-Czopek [2000] podaje, że na kształtowanie tekstury frytek największy wpływ mają hemicelulozy, protopektyny oraz ligniny spośród analizowanych frakcji polisacharydów nieskrobiowych (NSP) i ligniny. Wymienieni autorzy nie stosowali jednak w badaniach dodatku preparatu enzymatycznego do blanszowania krajanki.

Proces podsuszania krajanki może oddziaływać na teksturę gotowego produktu [van Loon i in. 2007]; jego zadaniem jest również zmniejszenie udziału frytek wiotkich i miękkich po usmażeniu oraz zachowanie przez dłuższy czas chrupkości gotowego produktu [Lisińska, Leszczyński 1989].

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że podsuszanie krajanki metodą mikrofalowo-próżniową poprawiło teksturę frytek (22 N) w porównaniu z próbą niepodpuszaną (18 N). Natomiast frytki uzyskane po podsuszeniu metodą konwekcyjną były zbyt twarde (30 N).

W procesie technologicznym otrzymywania frytek po etapie podsuszania krajanka smażona jest w oleju. Smażenie prób ma również wpływ na teksturę frytek. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury smażenia prób polepszała się tekstura gotowego produktu. Smażenie w temperaturach 175°C (448,15 K) i 190°C (463,15 K) umożliwiło uzyskanie odpowiedniej tekstury frytek, kształtującej się na poziomie 18 i 19 N.

Użyta w doświadczeniu odmiana ziemniaka („Felsina”) charakteryzująca się podwyższoną zawartością cukrów redukujących w bulwach oraz gromadząca większą ich ilość w trakcie przechowywania ziemniaków w niższych temperaturach miała istotnie wyższą zawartość cukrów redukujących w krajance ziemniaczanej w porównaniu z odmianą „cold storage” Innovator. Blanszowanie kawałków ziemniaka w wodzie miało istotny wpływ na zmniejszenie zawartości cukrów redukujących w krajance sporządzonej z ziemniaków badanych odmian. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wyższa temperatura wody oraz dłuższy czas procesu blanszowania zwiększyły ilość cukrów redukujących wyflukiwanych z krajanki.

Pedreschi i in. [2007] i Mestdagh i in. [2008] zaobserwowali identyczną tendencję do wymywania cukrów redukujących z krajanki blanszowanej w wyższej temperaturze przez dłuższy czas. Powyżsi autorzy podają, że temperatura procesu ma większy wpływ na ilość wypłukiwanych z ziemniaka cukrów niż czas prowadzonego zabiegu. Proces prowadzony w niższej temperaturze wymaga wydłużenia czasu. Pedreschi i in. [2006, 2007], Burch i in. [2008] oraz Mestdagh i in. [2008] podają, że wraz ze zmniejszającą się zawartością cukrów redukujących w blanszowanej krajance ziemniaczanej barwa uzyskanych frytek była jaśniejsza i bardziej wyrównana, a gotowy produkt charakteryzował się niższą zawartością AA.

Natomiast blanszowanie krajanki z dodatkiem pektyn o zwiększającym się stężeniu oraz w wodzie z dodatkiem pektynolitycznego preparatu enzymatycznego Pectinex Ultra SP-L zwiększało ilość cukrów redukujących w krajance otrzymanej z ziemniaków badanej odmiany. Wzrost ilości cukrów redukujących w roztworze blanszującym, a następnie w krajance ziemniaczanej był spowodowany dodatkiem pektyn, w skład budowy łańcucha których wchodziły cukry proste, oraz dodatkiem preparatu pektynolitycznego Pectinex Ultra SP-L. Preparat ten spowodował hydrolizę części pektyn wchodzących w skład budowy ściany komórkowej ziemniaka, w wyniku czego doszło do uwolnienia cukrów prostych z łańcucha poligalakturonowego do roztworu blanszującego i następnie do krajanki. Wyżej wymienione zabiegi powodowały również pogorszenie barwy frytek oraz wyraźny wzrost zawartości akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach.

W przeprowadzonych badaniach wykazano istotną zależność pomiędzy barwą frytek a zawartością w nich akrylamidu. Wraz ze zwiększającą się ilością cukrów redukujących w bulwach ziemniaka badanych odmian (Felsina, Santana, Innovator) podwyższała się zawartość akrylamidu w sporządzonych frytkach oraz pogarszała się barwa gotowego produktu. Wykazano również, że niska zawartość cukrów redukujących w surowcu badanych odmian (bez przetrzymywania w niskiej temperaturze) umożliwiała uzyskanie frytek o odpowiedniej, złotej i wyrównanej barwie oraz niskiej zawartości AA.

Pedreschi i in. [2006] podają, że frytki zawierające mniejszą ilość AA charakteryzowały się jaśniejszą barwą w porównaniu z tymi, które zawierały niższą ilość toksycznego związku. Amrein i in. [2003, 2004], Biederman-Brem i in. [2003], Chuda i in. [2003], Becalski i in. [2004] oraz De Wilde i in. [2005] stwierdzili, że zmniejszenie ilości cukrów redukujących w ziemniakach przeznaczonych do smażenia może znacząco obniżyć zawartość AA w gotowym produkcie.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że dobór odmiany ziemniaka do przerebu, a przede wszystkim związana z tym zawartość cukrów redukujących w bulwie, decydująca o ilości powstającego we frytkach akrylamidu. Stwierdzono, że ziemniaki odmiany „Innovator” gromadziły o około 55% mniej cukrów redukujących w bulwach po 8 tygodniach przechowywania w niskiej temperaturze i zawierały o około 27 % mniej AA we frytkach po I stopniu smażenia i o około 60% w gotowych frytkach w porównaniu z odmianami „Felsina” i „Santana”.

Wybór odmiany ziemniaka charakteryzującej się odpowiednio niską zawartością cukrów redukujących w bulwach [Zgórska, Frydecka-Mazurczyk 2000a, Putz 2004, Grudzińska 2007] oraz odpowiednie warunki przechowywania ziemniaków prowadzą do uzyskania barwy gotowego produktu akceptowanej przez konsumenta oraz do obniżenia zawartości akrylamidu w usmażonym produkcie [Amrein i in. 2003, Becalski i in. 2004, Olsson i in. 2004, De Wilde i in. 2006a, Williams 2005, Pedreschi i in. 2006].

Proces blanszowania krajanki ziemniaczanej w wodzie miał wpływ na poprawę barwy gotowego produktu poprzez wymycie cukrów redukujących z powierzchni ziemniaka.

W doświadczeniu uzyskano polepszenie barwy frytek wraz ze wzrostem temperatury i czasu blanszowania, a istotny efekt zaobserwowano po zastosowaniu temperatury 60°C (333,15 K) przez 15 minut.

Niższa zawartość cukrów redukujących w krajance ziemniaczanej ma wpływ na wytworzenie istotnie mniejszej ilości akrylamidu w półprodukcie i w gotowych frytkach. Stwierdzono, że niezależnie od zastosowanego czasu i temperatury blanszowania krajanki w wodzie frytki charakteryzowały się znacznie niższą zawartością AA (o około 46% – odmiana „Felsina” i o około 37% – odmiana „Innovator”) w porównaniu z próbą bez blanszowania. Blanszowanie w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 minut oraz w 80°C (353,15 K) przez 5 minut istotnie obniżyło zawartość AA w gotowych frytkach (średnio o około 37% oraz o około 41%) sporządzonych z ziemniaków obu odmian w porównaniu z próbą kontrolną. Frytki otrzymane z odmiany „Innovator”, blanszowane w wodzie o temperaturze 60°C (333,15 K) przez 15 min i 80°C (353,15 K) przez 5 min charakteryzowały się niższą zawartością AA (średnio 196 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) w porównaniu z frytkami otrzymanymi z „Felsiny” (średnio 278,5 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Mestdagh i in. [2008] podają, że ilość akrylamidu we frytkach istotnie się obniżyła wraz ze wzrostem temperatury i czasu blanszowania krajanki, a proces prowadzony w temperaturze 80°C przez 20 minut spowodował zmniejszenie ilości AA w gotowym produkcie o około 81%.

Blanszowanie krajanki ziemniaczanej w wodzie z dodatkiem pektyn było już wcześniej stosowane przez Khalila [1999], jednak praca tego autora dotyczyła innego zakresu badań. Dotychczas nie prowadzono badań w kierunku określenia zmian zawartości akrylamidu powstającego w usmażonych ziemniakach, ani nie analizowano ilości toksycznego związku w gotowym produkcie z równoczesną oceną cech organoleptycznych frytek.

Stwierdzono, że blanszowanie krajanki z dodatkiem pektyn miało wpływ na kształtowanie barwy frytek. Wzrost stężenia pektyny w roztworze blanszującym miał wpływ na zwiększenie ilości cukrów redukujących w krajance i w rezultacie na pogorszenie barwy frytek. Blanszowanie krajanki w 1% i 2% roztworze pektyny nieznacznie pogorszyło barwę frytek w porównaniu z próbą kontrolną. Natomiast blanszowanie w 4% roztworze pektyn istotnie zwiększyło ilość cukrów redukujących (o około 32%) w porównaniu z krajanką blanszowaną w wodzie oraz pogorszyło barwę gotowego produktu.

W badaniach wykazano, że wraz ze wzrostem stężenia pektyn w roztworze blanszującym zwiększyła się zawartość akrylamidu we frytkach. Blanszowanie krajanki w roztworze pektyn o najwyższym stężeniu (4%) – nie tylko pogorszyło barwę gotowego produktu, ale również podwyższyło zawartość AA we frytkach ponad dwukrotnie w porównaniu z próbą kontrolną (z 335 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 735 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Wprowadzenie pektyn do blanszowania krajanki powodowało wzrost ilości AA we frytkach. Prawdopodobnie zależność ta związana jest z budową pektyn, ponieważ składają się one z długiego łańcucha kwasu α -poligalakturonowego oraz towarzyszących cukrów, między innymi: ramnozy, galaktozy, arabinozy, ksylozy oraz niewielkich ilości fukozy [Kączkowski 1974, Selvendran 1983, BeMiller 1986, Fennema i in. 1996, O’Neill i in. 2001, Voragen i in. 2009, Ross i in. 2010], których ilość zwiększała się najpierw w roztworze blanszującym, a następnie w krajance, powodując tym samym podwyższenie poziomu akrylamidu w usmażonym produkcie. Dobór stężenia roztworu pektyn w procesie blanszowania powinien uwzględniać zachowanie odpowiedniej barwy gotowego produktu. Jaśniejsza barwa frytek nie tylko może wpłynąć na większą akceptację ze strony konsumenta, ale również może wskazywać na niższą zawartość AA w usmażonym produkcie.

Stwierdzono, że wyższy dodatek pektynolitycznego preparatu enzymatycznego (Pectinex Ultra SP-L) do blanszowania zwiększał zawartość cukrów redukujących w roztworze blanszującym oraz w krajance ziemniaczanej. Efekt ten prawdopodobnie został spowodowany faktem, że preparat ten dodany do blanszowania krajanki rozkładał pektynę wchodzącą w skład budowy ściany komórkowej ziemniaka. W wyniku działania preparatu wydzielone zostały z łańcucha poligalakturonowego cukry proste, których ilość zwiększyła się w roztworze blanszującym, a następnie w krajance. Wyższa zawartość cukrów redukujących w krajance spowodowała istotne pogorszenie barwy frytek oraz istotny wzrost ilości AA w porównaniu z próbą kontrolną. Zawartość akrylamidu we frytkach po I i II stopniu smażenia sporządzonych z krajanki blanszowanej z dodatkiem $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu zwiększyła się kolejno półtorakrotnie i około dwukrotnie w porównaniu z próbą blanszowaną w wodzie. Natomiast dodatek $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu w niewielkim stopniu zwiększył ilość cukrów redukujących i tym sposobem umożliwił zachowanie w miarę dobrej barwy oraz podwyższył w niewielkim stopniu zawartość AA we frytkach.

Proces podsuszania prowadzi do usunięcia nadmiaru wody z powierzchni krajanki i ma istotny wpływ na cechy jakości gotowego produktu, w tym na jego barwę [Krokida i in. 2001b, d].

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że podsuszanie krajanki ziemniaczanej metodą konwekcyjną miało istotny wpływ na pogorszenie barwy frytek (była ona zbyt ciemna). Pogorszenie barwy frytek może być związane z intensywniej przebiegającą reakcją Maillarda lub karmelizacji cukrów na powierzchni podsuszanej krajanki [Friedman 2003, Reimerdes, Franke 2006]. Podsuszanie prowadzone metodą konwekcyjną jest bardziej długotrwałe w porównaniu z metodą mikrofalowo-próżniową i dlatego zdecydowanie pogorsza barwę frytek. Podsuszanie mikrofalowo-próżniowe trwało krócej, ogrzewanie materiału było bardziej równomierne i przebiegało w całej jego masie, stąd też barwa frytek była korzystniejsza i bardziej wyrównana.

Przeprowadzone badania wykazały, że wraz z podwyższającą się ilością suchej masy podsuszanej krajanki ziemniaczanej w półprodukcie i w gotowych frytkach zwiększała się zawartość akrylamidu. Najwyższą utratą wilgoci charakteryzowały się próby podsuszane metodą konwekcyjną i one też zawierały najwięcej toksycznego związku ($1\,935 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Półprodukt oraz gotowe frytki sporządzone z krajanki podsuszanej metodą konwekcyjną charakteryzowały się wyższą zawartością akrylamidu (średnio powyżej 80%) w porównaniu z próbą kontrolną. Podsuszanie krajanki metodami mikrofalowo-próżniową i konwekcyjną miało niekorzystny wpływ na ilość powstającego akrylamidu. Frytki otrzymane po podsuszeniu krajanki metodą mikrofalową zawierały trzy razy więcej akrylamidu, a po konwekcyjnym podsuszeniu sześć razy więcej tego związku w porównaniu z próbą bez podsuszania. Yuan i in. [2007] podają, że ogrzewanie mikrofalowe może mieć wpływ na zwiększenie ilości akrylamidu tworzącego się na powierzchni gotowego produktu (czipsów). Biorąc jednak pod uwagę fakt, że proces podsuszania konwekcyjnego jest procesem bardziej długotrwałym niż podsuszanie metodą mikrofalową, można wyjaśnić większą zawartość akrylamidu w usmażonym ziemniaku uprzednio podsuszanym konwekcyjnie.

Matthäus i in. [2004] podają, że istnieje zależność pomiędzy zawartością wody w półprodukcie a ilością akrylamidu wytworzonego w gotowym produkcie. W czasie podsuszania zwiększa się zawartość suchej masy krajanki ziemniaczanej, a jej wzrost wpływa na zwiększenie ilości wytworzonego AA w usmażonym produkcie. W czasie smażenia akrylamid powstaje na powierzchni smażonego produktu, ponieważ tam jest najwyższa temperatura

i najmniejsza zawartość wody w porównaniu z pozostałą częścią [Claeys i in. 2005]. Autorzy ci twierdzą, że najwyższą zawartością akrylamidu charakteryzują się te produkty ziemniaczane, w których wilgotność surowca kształtuje się w granicach 10–20%.

Barwa frytek tworzy się w czasie smażenia prób w oleju, dlatego istotny jest dobór odpowiednich warunków procesu, zapewniających uzyskanie właściwej barwy gotowego produktu. Frytki o zbyt jasnej lub zbyt ciemnej barwie nie są akceptowane przez konsumenta. Stwierdzono, że frytki smażone w oleju o temperaturze 190°C charakteryzowały się zbyt ciemną barwą, natomiast smażone w temperaturach niższych – 130°C i 175°C miały prawidłową barwę. Ciemniejsza barwa gotowego produktu związana jest zazwyczaj z podwyższoną zawartością akrylamidu w usmażonej próbce [Pedreschi i in. 2006].

Udowodniono, że smażenie prób prowadzone w zakresie temperatur od 130 do 190°C miało istotny wpływ na wzrost zawartości akrylamidu we frytkach. Podwyższenie temperatury smażenia do 190°C zwiększyło prawie siedemnastokrotnie zawartość AA we frytkach w porównaniu z tymi smażonymi w temperaturze 130°C. Obniżenie temperatury smażenia frytek ze 190°C do 175°C obniżyło istotnie poziom akrylamidu (o około 28%). Gökmen i in. [2006] podają, że ilość AA we frytkach obniżyła się wraz z obniżeniem temperatury smażenia ze 190°C do 150°C o około 70%. Claeys i in. [2005], Fiselier i in. [2006], Gökmen i in. [2006], Palazoğlu i Gökmen [2008b], Brunton i in. [2009], Pedreschi i Zuñiga [2009], Romani i in. [2009] oraz Anese i in. [2010] podają, że gwałtowny wzrost zawartości AA związany jest głównie z temperaturą smażenia, a zwłaszcza z końcowym etapem procesu [Clayes i in. 2005]. Pedreschi i in. [2006] oraz Pedreschi i Zuñiga [2009] podają, że zastosowanie niższej temperatury smażenia (poniżej 160°C) obniża zawartość AA w gotowym produkcie, lecz odbywa się to kosztem pogorszenia charakterystycznych wyróżników jakości gotowego produktu, tj. tekstury, barwy i zawartości oleju, na które konsument zwraca szczególną uwagę.

Niskie temperatury smażenia (130°C i 150°C) prowadzą do uzyskania frytek o jasnej barwie i stosunkowo niskiej zawartości akrylamidu, lecz wiotkiej tekstury oraz podwyższonej zawartości tłuszczu. Cechy organoleptyczne takich frytek nie spełniłyby oczekiwań konsumenta. Dlatego zastosowanie smażenia prób w oleju o temperaturze 175°C przez 3 minuty umożliwiło sporządzenie frytek o odpowiednich cechach organoleptycznych i niskiej zawartości akrylamidu.

Do początku 2010 r. nie został jeszcze wyznaczony poziom akrylamidu w żywności wysokoskrobiowej poddanej obróbce termicznej uznany za bezpieczny dla zdrowia i życia człowieka. Dlatego smażone produkty ziemniaczane, w których stwierdzono wysoką zawartość tego toksycznego związku, powinny być w miarę rzadko spożywane i w stosunkowo niewielkich ilościach. Spożycie frytek z roku na rok wzrasta i prawdopodobnie ciągle będzie rosło, dlatego w pracy tej podjęte zostały badania zmierzające do uzyskania frytek „w miarę bezpiecznych” pod względem zawartości akrylamidu i przede wszystkim smacznych. Dlatego w przedstawionych badaniach zastosowano różne odmiany ziemniaka oraz zróżnicowane czynniki technologiczne, w celu wybrania tych, które umożliwią uzyskanie gotowego produktu o jak najniższym poziomie akrylamidu, bez pogorszenia jego cech organoleptycznych.

Przeprowadzone badania umożliwiły wyciągnięcie końcowego wniosku. W celu uzyskania odpowiednich (oczekiwanych) cech organoleptycznych frytek i stosunkowo niskiej zawartości akrylamidu oraz tłuszczu należy do przerobu kierować odmianę „cold storage” Innovator, która charakteryzuje się niską zawartością cukrów redukujących w bulwie przed i po przetrzymywaniu w niskiej temperaturze. Blanszowanie krajanki powinno być prowadzone w wodzie o temperaturze 60°C przez 15 min lub w 80°C przez 5 min. Zastosowanie do blan-

szowania pektyn w ilości 1% lub dodatku $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu Pectinex Ultra SP-L również ma w miarę korzystny wpływ na kształtowanie jakości frytek. Do podsuszania krajanki najlepiej stosować metodę mikrofalowo-próżniową zamiast konwekcyjnej. Smażenie frytek natomiast powinno być prowadzone w temperaturze oleju nie większej niż 175°C przez 3 min.

6. WNIOSKI

1. Ziemniaki odmiany „Innovator” zawierały najmniej cukrów redukujących w bulwach oraz gromadziły o około 55% mniej cukrów, po przechowywaniu w temperaturze 4°C niż odmiany „Felsina” i „Santana”. Potwierdzono istotną zależność pomiędzy barwą frytek a ilością wytworzonego akrylamidu. Frytki sporządzone z ziemniaków odmiany „Innovator” miały najlepszą barwę oraz najniższą zawartość AA (o około 27% mniej w półprodukcie i o około 60% mniej w gotowych frytkach) w porównaniu z frytkami z pozostałych odmian.

2. Wraz ze wzrostem temperatury i czasu blanszowania zwiększała się ilość wypłukiwanych z krajanki cukrów redukujących oraz zmniejszała zawartość akrylamidu we frytkach po I i II stopniu smażenia. Blanszowanie krajanki sporządzonej z ziemniaków odmiany „Innovator” w wodzie o temperaturze 60°C przez 15 min lub w 80°C przez 5 min było najkorzystniejsze, a otrzymane frytki charakteryzowały się odpowiednią teksturą, właściwą barwą oraz istotnie niższą ilością AA (średnio na poziomie 196 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

3. Blanszowanie krajanki ziemniaczanej w 1% roztworze pektyn korzystnie wpłynęło na cechy organoleptyczne frytek, obniżyło zawartość tłuszczu w półprodukcie o około 24% i we frytkach o około 21% w porównaniu z próbą kontrolną. Ponadto frytki charakteryzowały się właściwą teksturą (19 N) i barwą oraz istotnie niższą zawartością AA w porównaniu z próbami uzyskanymi po blanszowaniu w wyższym stężeniu pektyn (2 i 4%).

4. Dodatek 0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania istotnie zwiększył zawartość cukrów redukujących w krajance, pozwolił jednak na zachowanie dobrej barwy frytek i stosunkowo niskiej zawartości AA. Obniżył także o około 5% zawartość tłuszczu we frytkach w porównaniu z próbą kontrolną. Zastosowanie preparatu w ilości (2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) istotnie pogorszyło barwę frytek i zwiększyło zawartość AA, ale również istotnie obniżyło zawartość tłuszczu (o około 12%) i wpłynęło na poprawę tekstury gotowego produktu.

5. Podsuszanie krajanki metodami mikrofalowo-próżniową oraz konwekcyjną obniżyło zawartość tłuszczu we frytkach o około 22 i 12% w porównaniu z próbą niepodpuszaną. Podsuszanie mikrofalowo-próżniowe poprawiło teksturę frytek oraz utrzymało w miarę dobrą barwę gotowego produktu, przy stosunkowo niewielkim zwiększeniu zawartości akrylamidu. Podsuszanie konwekcyjne istotnie pogorszyło teksturę i barwę gotowego produktu oraz zwiększyło sześciokrotnie zawartość AA w porównaniu z próbą kontrolną.

6. Zwiększenie temperatury smażenia ze 130 do 190°C miało istotny wpływ na kształtowanie jakości frytek. Próby smażone w oleju o temperaturze 175°C charakteryzowały się najkorzystniejszymi cechami. Zawartość tłuszczu w takich frytkach obniżyła się o około 18% w porównaniu z próbami smażonymi w 130°C, miały one również odpowiednią teksturę i barwę oraz zawierały o około 28% mniejszą ilość AA w porównaniu z próbami smażonymi w temperaturze 190°C.

7. PIŚMIENNICTWO

- Abglor A., Scanlon M.G., 2000. Processing conditions influencing the physical properties of French fries potatoes. *Potato Res.*, 43, 163–178.
- Aguilera J.M., Gloria-Hernández H., 2000. Oil absorption during frying of frozen par fried potatoes. *J. Food Sci.*, 65, 476–479.
- Amrein T.M., Bachman S., Noti A., Biedermann M., Ferraz Bardosa M., Biedermann 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.
- Amrein T.M., Andres L., Manzardo G.G., Amadó R., 2006a. Investigation on the promoting effect of ammonium hydrogencarbonate on the formation of acrylamide in model system. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 10253–10261.
- Amrein T.M., Limacher A., Conde-Petit B., Amadó R., Escher F., 2006b. Influence of thermal processing conditions on acrylamide generation and browning in a potato model system. *J. Agric. Food Chem.*, 54 (16), 5910–5916.
- Amrein T.M., Schönbacher B., Rohner F., Lukac H., Schneider H., Keiser A., Escher F., Amadó R., 2004. Potential for acrylamide formation in potatoes: data from the 2003 harvest. *Eur. Food Res. Technol.*, 219, 572–578.
- Andersson A., Gekas V., Lind I., Oliveira F., Öste R., 1994. Effect of preheating on the potato texture. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34, 3, 229–251.
- Anese M., Bortolomeazzi R., Manzocco L., Manzano M., Giusto C., Nicoli M.C., 2009. Effect of chemical and biological dipping on acrylamide formation and sensory properties in deep-fried potatoes. *Food Res. Inter.*, 42, 142–147.
- Anese M., Suman M., Nicoli M.C., 2010. Acrylamide removal from heated foods. *Food Chem.*, 119, 791–794.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Arroqui C., Rumsey T.R., Lopez A., Virseda P., 2001. Effect of different soluble solids in the water on the ascorbic losses during water blanching of potato tissue. *J. Food Eng.*, 47, 123–126.
- Arroqui C., Rumsey T.R., Lopez A., Virseda P., 2002. Losses by diffusion of ascorbic acid during recycled water blanching of potato tissue. *J. Food Eng.*, 52, 25–30.
- Baardseth P., Blom H., Skrede G., Mydland L.T., Skrede A., Slinde E., 2006. Lactic acid fermentation reduces acrylamide formation and Rother Maillard reactions in French fries. *J. Food Sci.*, 71, 1, 28–33.
- Bagger-Jørgensen R., Meyer A.S., 2004. Effect of different enzymatic pre-press maceration treatments on the release of phenols into blackcurrant juice. *Eur. Food Res. Technol.*, 219, 620–629.
- Becalski A., Lau B.P.-Y., Lewis D., Seaman S.W., 2002. Acrylamid in foods. AOAC Ann. Meeting, Los Angeles, CA, 22–26.09.2002.

- Becalski A., Lau B.P.-Y., Lewis D., Seaman S.W., 2003. Acrylamide in Foods: Occurrence, Sources, and Modeling. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 802–808.
- Becalski A., Lau B.P.Y., Lewis D., Seaman S.W., Hayward 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.
- Bekas W., Kowalska D., Kowalski B., 2006. Akryloamid w żywności. *Przem. Spoż.*, 36–39.
- Bekas W., Kowalska D., Łobacz M., Kowalski B., 2009. Pobór akryloamidu w diecie przez przedstawicieli wybranej grupy pracowników umysłowych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, XLII, 3, 491–497.
- BeMiller J.N., 1986. An introduction to pectins: structure and properties, [in:] *Chemistry and Function of Pectins*, Fishman M.L., Jen J.J. ACS Symposium Series; American Chemical Society, Washington, DC, vol. 310, 1, 2–12.
- Biedermann M., Biedermann-Brem S., Noti A. Grob K., 2002a. Methods for determining the potential of acrylamide formation and its elimination in raw materials for food preparation, such as potatoes. *Mittel. Lebens. Hyg.*, 93, 653–667.
- Biedermann M., Noti A., Biedermann-Brem S., Mozzetti V., Grob K., 2002b. Experiments on acrylamide formation and possibilities to decrease the potential of acrylamide formation in potatoes. *Mittel. Lebens. Hyg.*, 93, 668–687.
- Biedermann-Brem S., Noti A. Grob K., Imhof D., Bazzocco D., Pfefferle A., 2003. How much reducing sugar may potatoes contain to avoid excessive acrylamide formation during roasting and baking? *Eur. Food Res. Technol.*, 217, 369–373.
- Bouchon P., Aguilera J.M., Pyle D.L., 2003. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. *J. Food Sci.*, 68, 2711–2716.
- Bourne M.C., 2002. *Food texture and viscosity. Concept and measurement.* 2-th ed., Academic Press., New York, 427.
- Brunton N. P., Gormley R., Sinn M., Butler F., Cummins E., O’Keeffe M., 2009. Effect of pre-treatments, frying temperature and oven re-heating on the acrylamide content and quality characteristics of French fries from „Rooster“ potato tubers, [in:] Yee N., Bussel W. (eds.) *Potato IV. FOOD.*, 3, (Special Issue 2), 76–81.
- Buhlert J., Carle R., Majer Z., Spitzner D., 2006. **Thermal degradation of peptides and formation of acrylamide.** *Let. Org. Chem.*, 3, 356–357.
- Burch R., Trzesicka A., Clarke M., Elmore J.S., Briddon A., Matthews W., Webber N., 2008. The effects of low-temperature potato storage and washing and soaking pretreatments on the acrylamide content of French fries. *J. Sci. Food Agric.*, 88, 6, 989–995.
- Burton W.G., 1989. *The Potato.* (3ed.) Longman Scientific and Technical. J. Wiley and Sons Inc. New York.
- Chuda Y., Ono H., Yada H., Ohara-Takada A., Matsuura-Endo., Mori M., 2003. Effects of physiological changes in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) after low temperature storage on the level of acrylamide formed in potato chips. *Biosci. Biotech. Biochem.*, 67, 1188–1190.
- Ciesarová Z., Kiss E., Bögl P., 2006. Impact of L-asparaginase on acrylamide content in potato products. *J. Food Nutr. Res.*, 45, 141–146.
- Claeys W.L., De Vleeschouwer K., Hendrickx E., 2005. Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends Food Sci. Technol.*, 16, 181–193.
- Claus A., Carle R., Schieber A., 2008. Acrylamide in cereal products: A review. *J. Cereal Sci.*, 47, 118–133.
- Clydesdale F.M., 1976. Instrumental techniques for colour measurement of foods. Symposium: *Colour Measurement of Food.* *Food Technol.*, 10, 52–59.
- Cook D.J., Taylor A.J., 2005. On-line MS/MS monitoring of acrylamide generation in potato- and cereal-based systems., *J. Agric. Food Chem.*, 53, 8926–8933.

- Czerko Z., Zgórska K., 2008. Technologia przechowywania ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 530, 69–79.
- De Wilde T., De Meulenaer B., Mestdagh F., Govaert Y., Ooghe W., Fraselle S., Demeulemeester K., Van Peteghem C., Calus A., Degroot J.-M., Verhé R., 2006b. Selection criteria for potato tubers to minimize acrylamide formation during frying. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 2199–2205.
- De Wilde T., De Meulenaer B., Mestdagh F., Govaert Y., Vandeburrie S., Ooghe W., Fraselle S., Demeulemeester K., Van Peteghem C., Calus A., Degroot J.-M., Verhé R., 2005. Influence of storage practices on acrylamide formation during potato frying. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 6550–6557.
- De Wilde T., De Meulenaer B., Mestdagh F., Govaert Y., Vandeburrie S., Ooghe W., Fraselle S., Demeulemeester K., Van Peteghem C., Calus A., Degroot J.-M., Verhé R., 2006a. Influence of fertilization on acrylamide formation during frying of potatoes harvested in 2003. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 404–408.
- Demir N., Acar J., Bahçeci K. S., 2004. Effects of storage on quality of carrot juices produced with lactofermentation and acidification. *Eur. Food Res. Technol.*, 218, 465–468.
- Drouzas A.E., Schubert H., 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *J. Food Eng.*, 28, 203–209.
- Du Pont M. S., Kirby A. B., Smith A.C., 1992. Instrumental and sensory tests of cooked frozen French fries. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 27, 285–295.
- Dybing E., Farmer P.B., Andersen M., Fennell T.R., Lalljie S.P.D., Müller D.J.G., Olin S., Petersen B.J., Schlatter J., Scholtz G., Scimeca J.A., Slimani N., Törnqvist M., Tuijtelaars S., Verger P., 2005. Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food Chem. Toxic.*, 43, 365–410.
- Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej., 2007. Zalecenie Komisji z dnia 3 maja 2007 r. w sprawie monitorowania poziomów akrylamidu w żywności – notyfikowany jako dokument nr C(2007) 1873. Tekst mający znaczenie dla EOG (2007/331/WE).
- Dzwolak W., 2009. Sposoby zmniejszania zawartości akryloamidu w produktach skrobiowych. *Przem. Spoż.*, 63, 26–29.
- Dzwonkowski W., Szczepaniak I., Zalewski A., Lewandowski R., 2010. Popyt na ziemniaki. *Rynek Ziemniaka*, cz. IV, 37, 12–19.
- Edwards Ch. G., Englar J.W., Brown Ch.R., Peterson J.C., Sorensen E.J., 2002. Changes in color and sugar content of yellow – fleshed potatoes stored at three different temperatures. *Am. J. Potato Res.*, 79, 49–53.
- Eerola S., Hollebekkers K., Hallikainen A., Peltonen K., 2007. Acrylamide levels in Finnish foodstuffs analysed with liquid chromatography tandem mass spectrometry., 51, 239–247.
- Erdoğan S.B., Palazoğlu T.K., Gökmen V., 2007. Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 133–137.
- FAO/WHO., 2002. FAO/WHO consultation on the health implications of acrylamide in food, 25–27 June 2002. Geneva, Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (www.who.int/fsf).
- FAO/WHO., 2008. Report of the Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission. Codex Committee on Contaminants in Food. Proposed draft code of practice for the reduction of acrylamide in Food (N06-2006)., Hague, The Netherlands, 31 March-4 April 2008.
- FAO/WHO., 2009. Report of the Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission. Codex Alimentarius Commission. Draft code of practice for the reduction of acrylamide in Foods, Rome, Italy, 29 June–04 July 2009.

- Fennema O.R., Karel M., Sanderson G.W., Tannenbaum S. R., Walstra P., Whitaker J.R., 1996. Food Chemistry. 3-rd ed. A series of Monographs. Food Science and Technology, Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong.
- Fernández S., Kurppa L., Hyvönen L., 2003. Content of acrylamide decreases in potato chips with addition of a proprietary flavonoid spice mix (Flavomore) in frying. *Innov. Food Technol.*, 8, 24–26.
- Fiselier K., Bazzocco D., Gama-Baumgartner F., Grob K., 2006. Influence of the frying temperature on acrylamide formation in French fries. *Eur. Food Res. Technol.*, 222, 414–419.
- Fiselier K., Grob K., 2005. Legal limit for reducing sugars in prefabricates targeting 50 µg/kg acrylamide in French fries. *Eur. Food Res. Technol.*, 220, 451–458.
- Friedman M., 2003. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 4504–4526.
- Friedman M., Levin C.E., 2008. Review of methods for the reduction of dietary content and toxicity of acrylamide. *J. Agric. Food Chem.*, 56, (15), 6113–6140.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska A., 2000. Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa spożywczego po przechowywaniu w niskiej temperaturze. *Żywn. Nauka Technol. Jakość*, 7(4), 51–59.
- Frydecka-Mazurczyk A., Zgórska A., 2002. Wpływ jesiennego przechłodzenia bulw ziemniak na zawartość glukozy, fruktozy i sacharozy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 481, 141–146.
- Gama-Baumgartner F., Grob K., Biedereman M., 2004. Citric acid to reduce acrylamide formation in French fries and roasted potatoes? *Mittel. Lebens. Hyg.*, 95, 110–117.
- Gamble M.H., Rice P., Selman J.D., 1987. Distribution and morphology of oil deposits in some deep fried products. *J. Food Sci.*, 52, 1742–1745.
- Garcia M.A., Ferrero C., Bertola N., Martino M., Zaritzky N., 2002. Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fried products. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2, 391–397.
- Garcia M.A., Ferrero C., Campana A., Bertola N., Martino M., Zaritzky N., 2004. Methylcellulose coatings applied to reduce oil uptake in fried products. *Food Sci. Technol. Intern.*, 10, (5), 339–346.
- Garncarek B., 1995. Występowanie, budowa oraz niektóre właściwości związków pektynowych, cz. I: Przem. Ferm. i Owoc.–Warz., 6, 26–27.
- Gąsiorowska B., Makarewicz A., 2004. Wpływ terminu sprzętu ziemniaka i warunków przechowywania na skład chemiczny bulw. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 500, 455–464.
- Gawęcki J., 2004. Podstawowe składniki pożywienia, [w:] Kompendium wiedzy o żywności i żywieniu, Gawęcki J., Mossor-Pietraszewska T. (red.). Wyd. Nauk PWN, Warszawa, 206–249.
- Gertz Ch., Klostermann S., 2002. Analysis of acrylamide and mechanisms of its formation in deep-fried products. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104, 762–771.
- Gielecińska I., Mojska H., 2009. Ocena zawartości akryloamidu we frytkach ziemniaczanych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, XLII, 3, 486–490.
- Głuska A., 2000. Nawadnianie jako czynnik kształtujący jakość plonu ziemniaków. *Biul. IHAR.*, 213, 179–184.
- Gökmen V., Palazoğlu T.K., 2008. Acrylamide formation in foods during thermal processing with a focus on frying. *Food Bioprocess Technol.*, 1, 35–42.
- Gökmen V., Palazoğlu T.K., Şenyuva H.Z., 2006. Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. *J. Food Eng.*, 77, 972–976.
- Gökmen V., Şenyuva H.Z., 2007. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chem.*, 103, 196–203

- Gökmen V., Şenyuva H. Z., Acar J., Sarioğlu K., 2005. Determination of acrylamide in potato chips and crisps by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. cz. A.*, 1088, 193–199.
- Gołubowska G., 2005. Changes of polysaccharide content and texture of potato during French fries production. *Food Chem.*, 90, 847–851.
- Gołubowska G., Lisińska G., 2003. Zmiany tekstury i zawartości związków pektynowych w ziemniakach podczas produkcji frytek. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.*, 1, 34, 91–98.
- Gołubowska G., Lisińska G., 2004. Zmiany zawartości polisacharydów nieskrobiowych i ligniny w ziemniakach trzech odmian w trakcie procesu technologicznego produkcji frytek. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 500, 483–492.
- Gołubowska G., Lisińska G., 2005. Zmiany tekstury i zawartości związków pektynowych w ziemniakach podczas produkcji frytek. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.*, 1, 42, 63–70.
- Gould W.A., 1999. *Potato production, processing and technology*. CTI Publications, INC, Maryland, 1–290.
- Granda C., Moreira R., Tischy S.E., 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *J. Food Sci.*, 68, 405–411.
- Granvogl M., Jezussek M., Koehler P., Schieberle P., 2004. Quantification of 3-aminopropionamide in potatoes – a minor but potential precursors in acrylamide formation. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 4751–4757.
- Grob K., 2007. Options for legal measures to reduce acrylamide contents in the most relevant foods. *Food Add. Contam.*, 24, suppl. 1, 71–81.
- Grob K., Biedermann M., Biedermann-Brem S., Noti A., Imhof D., Amrein T., Pfefferle 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.
- Grudzińska M., 2007. *Stabilność cech technologicznych i konsumpcyjnych bulw ziemniaka w czasie przechowywania*. Praca doktorska., Koszalin.
- Gummadi S. N., Manoj N., Kumar D.S., 2007. **Structural and biochemical properties of pectinases**, [in:] *Industril Enzymes. Structure, function and applications*. Polaina J., MacCabe A.P.(eds.). Springer, 99–115.
- Gupta P., Shivhare U.S., Bawa A.S., 2000. Studies on frying kinetics and quality of French fries. *Drying Technol.*, 18, 311–321.
- Hasse N.U., Matthäus B., Vosmann K., 2003. Acrylamide formation in foodstuffs-minimizing strategies for potato crisps. *Deutsche Lebensm. Rund.*, 99, 87–90.
- Hasse N.U., Matthäus B., Vosmann K., 2004. Aspects of acrylamide formation in potato crisps. *J. Appl. Bot.*, 78, 144–147.
- Hoenicke K., Gatermann R., Harder W., Hartig L., 2004. Analysis of acrylamide in different foodstuffs using liquid chromatography-tandem mass spectrometry and gas chromatography – tandem mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta.*, 520, 207–215.
- IARC – International Agency for Research on Cancer., 1994. *Acrylamide*. IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemical to Humans., 60, IARC, Lyon, France, 389–433.
- Jackson L.S., Al-Taher F., 2005. Effect of consumer food preparation on acrylamide formation, [in:] *Chemistry and safety of acrylamide in Food*. Friedman M., Mottram D.S. (eds). Springer, New York, 446–465.
- Jarosz K., Muszkat T., Skibniewski C., Suchodolski J., Urbański M., 1955. *Kontrola produkcji w przemyśle spirytusowym*. WPLiS, Warszawa.
- Jarych-Szyska M., 2006. *Zależność zawartości związków pro- i antyżywnościowych i jakości konsumpcyjnej ziemniaka od warunków uprawy oraz zabiegów technologicznych*. Praca doktorska., Wrocław.

- Jaswal A.S., 1991. Texture of French fries potato: Quantitive determination of non-starch polysaccharides. *Am. Potato J.*, 68, 835–841.
- JECFA – Joint Expert Committee on Food Additives, 2005. Report of the 64-th meeting: Acrylamide., February, 2005, Rome, Italy.
- Jones P.L., 1992. Electromagnetic wave energy in drying process. *Drying*, ed. A.S. Elsevier Sciences Publishers B.V., Amsterdam, Part A, 114.
- Jung M.Y., Choi D.S., Ju J.W., 2003. A novel technique for limitation of acrylamide formation in fried and baked corn chips and in French fries. *J. Food Sci.*, 68, 4, 1287–1290.
- Kączkowski J., 1995. Podstawy biochemii. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Keijbets M.J.H., Aviko B.V., 2001. The manufacture of pre-fried potato products. Part III. Improving product quality, [in:] *Frying. Improving quality*. J.B. Rossell. (ed.). CRC Press and Woodhead Publishing Limited, USA, 1–369.
- Khalil A.H., 1999. Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. *Food Chem.*, 66, 201–208.
- Kim E. T., Hwang E.S., Lee H.J. 2005. Reducing acrylamide in fried snack products by adding amino acids. *J. Food Sci.*, 70, C354–358.
- Kita A., 2006. Wpływ wybranych parametrów technologicznych na jakość smażonych produktów przekąskowych. *Zesz. Nauk AR Wroc.*, Rozpr. CCXL., 537, 1–65.
- Kita A., Lisińska G., Gołubowska G., 2007. The effects of oil and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chem.*, 102, (1), 1–5.
- Kita A., Lisińska G., Powolny M., 2005. The influence of frying medium degradation on fat uptake and texture of French fries. *J. Sci. Food Agric.*, 85, 1113–1118.
- Kita A., Lisińska G., Tajner-Czopek A., Pęksa A., Rytel E., 2009. The properties of potato snacks influenced by frying medium. *Food., Potato IV*, 3, Special Issue 2, 93–98.
- Konings E.J.M., Baars A.J., van Klaveren J.D., Spanjer M.C., Rensen P.M., Hiemstra M., van Kooij J. A., Peters P.W.J., 2003. Acrylamide exposure from foods of the Dutch population and an assessment of the consequent risks. *Food Chem. Toxic.*, 41, 1569–1579.
- Krokida M.K., Maroulis Z.B., Saravacos G.D., 2001a. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *Intern. J. Food Sci. Technol.*, 36,(1), 53–59.
- Krokida M.K., Oreopolou Z.B., Maroulis D., Marinos-Kouris D., 2001e. Deep fat frying of potato strips-quality issues. *Drying Technology*, 19, 879–935.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B., 2000. Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potato. *J. Food Eng.*, 43, (3), 147–154.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D., 2001b. Effect of pre-drying on quality of French fries. *J. Food Eng.*, 49, 347–354.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D., 2001d. Viscoelastic behavior of potato strips during deep fat frying. *J. Food Eng.*, 48, 213–218.
- Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D., 2001c. Colour changes during deep fat frying. *J. Food Eng.*, 48(3), 219–225.
- Kuilman M., Wilms L., 2007. Safety of the enzyme asparaginase, a means of reduction of acrylamide in food. *Toxicol. Lett.*, 172, S196–S197.
- Kumar D., Singh B.P., Kumar P., 2004. An overview of the factors affecting sugar content of potatoes. *Ann. Appl. Biol.*, 145, 247–256.
- Lamberg I., Hallstrom B., Olsson H., 1990. Fat uptake in a potato drying/frying process. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 23, 295–300.
- Łazarowicz A., 2006. Wyższy uzysk soku i lepsza jakość gwarancją lepszej pozycji na rynku. *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.*, 6, 8.
- Leszczyński W., 1975. Krytyczna ocena metod oznaczania zawartości skrobi w bulwach ziemniaka. *Przem. Ferm. Rol.*, 19, (11), 22–24.

- Leszczyński W., 1994. Wpływ czynników działających w okresie wegetacji ziemniaka na jego jakość. *Post. Nauk. Rol.*, 6, 55–68.
- Lingnert H., Grivas S., Jägerstad M., Skog K., Törnqvist M., Aman P., 2002. Acrylamide in food: mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Scan. J. Nutr.*, 46, 159–172.
- Lisińska G., 2000. Czynniki surowcowe i technologiczne kształtujące jakość przetworów ziemniaczanych. *Mat. I Konf. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie” Polanica Zdrój, 8–11 maja 2000*, 51–57.
- Lisińska G., 2004. Przetwory ziemniaczane spożywcze: wielkość produkcji, wartość żywieniowa. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 500, 57–68.
- Lisińska G., 2006. Wartość technologiczna i jakość konsumpcyjna polskich odmian ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 511, 81–94.
- Lisińska G., Gołubowska G., 2005. Structural changes of potato tissue during French fries production. *Food Chem.*, 93, (4), 681–687.
- Lisińska G., Leszczyński W., 1989. *Potato Science and Technology*. Elsevier Applied Science, London and New York. 1–391.
- Lisińska G., Pęksa A., Kita A., Rytel A., Tajner-Czopek A., 2009. The quality of potato for processing and consumption. *Food., Potato IV*, 3, Special Issue 2, 99–104.
- Lisińska G., Pęksa A., Tajner A., Pawliczko H., 1995. Jakość ziemniaka smażonego. *Cz. XI. Wpływ podsuszania frytek ziemniaczanych po blanszowaniu na ich jakość*. *Zesz. Nauk. AR Wroc. Technol. Żywn. VIII.*, 273, 83–92.
- Lisińska G., Plizga I., 1992. Wpływ blanszowania na jakość frytek ziemniaczanych. *Przem. Spoż.*, 2, 49–51.
- Lisińska G., Tajner-Czopek A., Kalum L., 2007. The effects of enzymes on fat content and texture of French fries. *Food Chem.*, 102, 1055–1060.
- Liu E.Z., Scalon M.G., 2007. Modeling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips. *J. Food Eng.*, 81, 292–297.
- LoPachin R.M., 2005. Acrylamide Neurotoxicity: Neurological, morphology and molecular endpoint in animal models, [in:] *Chemistry and safety of acrylamide in food*. Friedman M., Mottram D. (eds.). Springer Inc., USA, 561, 21–37.
- Low G., Koutsidis J.K., Parker J.K., Elmore S.J., Dodson A.T., Mottram D.S., 2006. Effect of citric acid and glycine addition on acrylamide and flavor in a potato model system. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 5976–5983.
- Lutomirska B., 2008. *Technologia uprawy ziemniaka przeznaczonego do przetwórstwa*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 530, 53–67.
- Marle J.T., van Dijk C., van Voragen A.G.J., Biekman E.S., 1994. Comparison of the cooking behaviour of the potato cultivars Nicola and Irene with respect to pectin breakdown and the transfer of ions. *Potato Res.*, 37, 183–195.
- Martin F.L., Ames J.M., 2001. Formation of strecker aldehydes and pyrazines in a fried potato model system. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 3885–3892.
- Maskan M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *J. Food Eng.*, 44, 71–78.
- 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.
- Matthys C., Bilau M., Govaert Y., Moons E., De Henauw S., Willems J.L., 2005. Risk assessment of dietary acrylamide intake in Flemish adolescents. *Food Chem. Toxic.*, 43, 271–278.
- Mellema M., 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends Food Sci. Technol.*, 14, 364–373.

- Mestdagh F., De Meulenaer B., Van Peteghem C., 2007. Influence of oil degradation on the amounts of acrylamide generated in a model system and in French fries. *Food Chem.*, 100, (3), 1153–1159.
- Mestdagh F.J., De Meulenaer B., Van Poucke C., Detavenier C., Cromphout C., Van Peteghem C., 2005. Influence of oil type on the amounts of acrylamide in a model system and in French fries. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 6170–6174.
- Mestdagh F., De Wilde T., Fraselle S., Govaert Y., Ooghe W., Degroodt J-M. Verhe R., Van Peteghem C., De Meulenaer B., 2008. Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes. *Food Sci. Technol.*, 41, (9), 1648–1654.
- Mestdagh F., van Peteghem C., de Meulenaer B., 2009. A farm-to-fork approach to lower acrylamide in fried potatoes, [in:] Yee N., Bussel W (eds.). *Potato IV. FOOD.*, 3 (Special Issue 2), 66–75.
- Mojska H., 2007. Akryloamid – nowe zalecenia Unii Europejskiej. *Przem. Spoż.*, 12, 8–12.
- Mojska H., Gielecińska I., Chajewska K., Szponar L., 2006. Chipsy jako potencjalne źródło akryloamidu w polskiej diecie. *Zdr. Publ.*, 116, 2, 353–355.
- Mojska H., Gielecińska I., Marecka D., Szponar L., Świdzka K., 2008. Ogólnopolskie badania zawartości akryloamidu w żywności. *Bromat. Chem. Toksykol.*, XXXI, 3, 848–853.
- Mojska H., Gielecińska I., Oltarzewski M., Szponar L., 2009. Akryloamid w żywności – ocena narażenia populacji polskiej. *Bromat. Chem. Toksykol.*, XLII, 3, 436–441.
- Morales F., Capuano E., Fogliano V., 2008. Mitigation Strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1226, 89–100.
- Morales F., Capuano E., Fogliano V., 2008. Mitigation strategies to reduce acrylamide formation in fried potato products. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1126, 89–100.
- Mottram D.S., Wedzicha B.L., Dodson A.T., 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction., *Nature.*, 419, 448–449.
- Moyano P., Berna Z., 2002. Modelling water loss during frying of potato strips: Effect of solute impregnation. *Drying Technol.*, 20, 1303–1318.
- Moyano P.C. Mottram D.S., Wedzicha B.I., Dodson A.T., 2002a. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature.*, 419, 448–449.
- Moyano P.C., Riosco V.K., González P.A., 2002b. Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated French fries. *J. Food Eng.*, 54, 249–255.
- Mozolewski W., 2000a. Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa w zależności od czasu przechowywania. Cz I. Wpływ czasu przechowywania ziemniaków na ich przydatność do wyrobu czipsów. *Biul. IHAR*, 213, 261–267.
- Mozolewski W., 2000b. Przydatność odmian ziemniaka do przetwórstwa w zależności od czasu przechowywania. Cz II. Wpływ czasu przechowywania ziemniaków na ich przydatność do wyrobu frytek. *Biul. IHAR*, 213, 269–274.
- Mozolewski W., 2003. Badania związków między jakością odmian ziemniaka a jakością czipsów i frytek. *Rozprawy i monografie. Wyd. UWM Olsztyn*, 1–64.
- Mucci L.A., Adami H.O., 2005. The role of epidemiology in understanding the relationship between dietary acrylamide and cancer risk in Humans, [in:] *Chemistry and safety of acrylamide in food.* Friedman M., Mottram D. (eds.). 561, 39–47.
- Noti A., Beidermann-Brem S., Beidermann M. Koni Grob., Albisser P., Realini P., 2003. Storage of potatoes at low temperature should be avoided to prevent increased acrylamide formation during frying and roasting. *Mittel. Lebens. Hyg.*, 94, 167–180.
- Nowak D., 2008. Enzymy jako nowoczesne narzędzie technologiczne. *Surowce i produkty pomocnicze.*, *Agro Przemysł*, 7, 28–30.
- Nussinovitch A., 2003. Water-soluble polymer applications in foods., *Blackwell Sci., Ltd., UK*, 1–226.

- O'Neill M.A., Darvill A.G., Albersheim P., 2001. Pectic substances. *Encyclopedia of life sciences*. Nature Publishing Group., 1–11.
- Ölmez H., Tuncay F., Özcan N., Demirel S., 2008. A survey of acrylamide levels in foods from the Turkish market. *J. Food Compos. Anal.*, 21, 564–568.
- 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.
- Ou S., Lin Q., Zhang Y., Huang C., Sun X., Fu L., 2008. Reduction of acrylamide formation by selected agents in fried potato crisps on industrial scale. *Innov. Food Sci. Emerg. Tech.*, 9, 116–121.
- Palazoğlu T.K., Gökmen V., 2008a. Development and experimental validation of a frying model to estimate acrylamide levels in French fries. *J. Food Sci.*, 73, E109–E114.
- Palazoğlu T.K., Gökmen V., 2008b. Reduction acrylamide level in French fries by employing a temperature program during frying. *J. Agric. Food Chem.*, 56, 15, 6162–6166.
- Pałasiński M., 1972. *Ziemniak jako surowiec przemysłowy*, [w:] Nowotny F. (red.). *Technologia przetwórstwa ziemniaczanego*. WNT, Warszawa.
- Pedreschi F., 2009. Fried and dehydrated potato products, [in:] *Advances in Potato Chemistry and Technology*. Singh J., Kaur L. (eds.), 1st ed., Elsevier, New York, USA. 1–507.
- Pedreschi F., Kaack K., Granby K., 2006. Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Res. Int.*, 39, 40–46.
- Pedreschi F., Kaack K., Granby K., 2008. The effect of asparaginase on acrylamide formation in French fries. *Food Chem.*, 109, 386–392
- Pedreschi F., Kaack K., Granby K., Troncoso E., 2007. Acrylamide reduction under different pre-treatments in French fries. *J. Food Eng.*, 79, 1287–1294.
- Pedreschi F., Moyano P., Kaack K., Grandby K., 2005. Color changes and acrylamide formation in fried potato sliced. *Food Res. Inter.*, 38, 1–9.
- Pedreschi F., Zuñiga R.N., 2009. Acrylamide and oil reduction in fried potatoes: A review, [in:] Yee N., Bussel W. (eds.) *Potato IV. FOOD.*, 3, Special Issue 2, 82–92.
- Pęksa A., 2008. Kształtowanie jakości przetworów ziemniaczanych w procesie produkcyjnym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 530, 81–94.
- Putz B., 2004. Reduzierende Zucker in Kartoffel. *Kartoffelbau.*, 55, 188–192.
- Reeve R.M., 1977. Pectin, starch and texture of potato – some practical and theoretical implications. *J. Texture Stud.*, 8, 1–17.
- Reimerdes E.H., Franke K., 2006. **Engineering and biotechnological aspects for the manufacturing of high quality fried potato products**. *Biotechnol. J.*, 1, 413–419.
- Rimac-Brnčić S., Lelas V., Rade D., Šimundić B., 2004. Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *J. Food Eng.*, 64, 237–241.
- Robert F., Vuataz G., Pollen P., Saucy F.O., Alonso M.I. Bauwens I., Blank I., 2004. Acrylamide formation from Asparagine under low-moisture Maillard reaction conditions. 1. Physical and chemical aspects in crystalline model systems. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 6837–6842.
- Rogozińska I. Wojdyła T., Pińska M., 1996. Wpływ zróżnicowanych bezpośrednich i pośrednich czynników środowiskowych na zawartość węglowodanów w bulwie ziemniaka jadalnego. *Mat. Konf. „Ziemniak jako surowiec do przetwórstwa spożywczego” Bonin, 1996*, 54–60.
- Romani S., Bacchiocca M., Rocculi P., Dala Rosa M., 2008. Effect of frying time on acrylamide content and quality aspects of French fries. *Eur. Food Res. Technol.*, 226, 3, 555–560.
- Romani S., Bacchiocca M., Rocculi P., Dala Rosa M., 2009. Influence of frying conditions on acrylamide content and other quality characteristics of French fries. *J. Food Com. Anal.*, 22, 582–588.

- Rosén J., Hellenäs K.E., 2002. Analysis of acrylamide in cooked foods by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Analyst*, 127, 880–882.
- Ross H.A., Wright K.M., McDougall G.J., Robersts A., Chapman S.N., Morris W.L., Hancock R.D., Stewart D., Tucker G.A., James E.K., Taylor M.A., 2010. Potato tuber pectin structure in influenced by pectin methyl esterase activit and impacts on cooked potato texture. *J. Experim. Bot.* 20, 1–11.
- 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.
- Saguy I., Dana D., 2003. Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *J. Food Eng.*, 56, 143–152.
- Sahin S., Sumnu G., Ozop M.H., 2007. Effect of osmotic pretreatment and microwave frying on acrylamide formation in potato strips. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 2830–2836.
- Samotus B., Leja M., 1974. Dynamika nagromadzenia i zanikania cukrów podczas zimnego przechowywania i rekondycjonowania. *Rocz. Technol. Chem. Żyw.*, 3, 245–249.
- Sanny M., Luning P.A., Marcelis W.J., Jinap S., Van Boekel M.A.J.S., 2010. Impact of control behavior on unacceptable variation in acrylamide in French fries. *Trends Food Sci. Technol.*, 1–12.
- SCF – Scientific Committee on Food., 2002. Opinion of the Scientific committee on Food on new findings regarding the presence of acrylamide in food. European Commission Health & Consumer Protection Directotote-General, Scientific Committee on Food., Brussel, Belgium, 3 July 2002 (www.europa.eu.int).
- Selvendran R.R., 1983. The Chemistry of Plant Cell Walls. In *Dietary Fibre*. Ed. G.G. Birch and K.J. Parker. Applied Science Publisher, London, 95–147.
- Skibniewska K.A., Wieczorek J., Mozolewski W., 2003. Akrylamid zagrożeniem jakości zdrowotnej żywności. *Biul. Nauk.*, 22, 21–25.
- Skog K., Viklund G., Olsson K., Sjöholm I., 2008. Acrylamide in home-prepared roasted potatoes. *Molec. Nutr. Food Res.*, 52, 3, 307–312.
- SNFA – Swedish National Food Administration., 2002.: Acrylamide in Food. URL: <http://www.slv.se/engdefault.asp>.
- Sowokinos J.R., 2001. Biochemical and molecular control of cold induced sweetening potatoes. *Am. J. Potato Res.*, 78, 221–236.
- Sowokinos J.R., Shock C.C., Stiebler T.D., Eldredge E.P., 2000. Compositional and enzymatic changes associated with sugar-end defect in Russet Burbank potatoes. *Am. J. Potato Res.*, 77, 47–56.
- Speiser W., 1996. Enzymes for the fruit juice industry. *Fruit Process.*, 12, 487–489.
- Stadler R.H., 2004. Acrylamide formation in different foods potential strategies for reduction, [in:] *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*. Friedman M., Mottram D. (eds.), 561, 157–169.
- Stadler R.H., Blank I., Varga N., Robert F., Hau J., Guy P. A., Robert M.C., Riediker S., 2002. Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature.*, 419, 449–450.
- Stanisz A., 2000. Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu STATISTICA PL. Na przykładach z medycyny. Tom I i II, Kraków.
- Szczesniak-Surmacka A., 2002. Texture is a sensory property. *Food Qual. Pref.*, 13, 215–225.
- Taeymans D., Wood J., Ashby P., Blank I., Studer A., Stadler R.H., Gondé P., Van Eijck P., Lalljie S., Lingnert H., Lindblom M., Matissek R., Müller D., Tallmadge D., O'Brien J., Thompson S., Silvani D., Whitmore T., 2004. A Review of Acrylamide: An Industry Perspective on Research, Analysis, Formation, and Control. *Crit. Rev. Food Sci.Nutri.*, 44, 323–347.

- Tajner-Czopek A., 2000. Konsystencja frytek ziemniaczanych w zależności od zawartości i składu polisacharydów w surowcu. *Żywn. Nauk. Technol. Jakość. Supplement.*, 4(25), 70–83.
- Tajner-Czopek A., 2003. Changes of pectin substances concentration in potatoes and French fries and the effect of these substances on the texture of the final product. *Nahrung/Food*, 47 (4), 228–231.
- Tajner-Czopek A., Figiel A., 2003. Effect on the content of potato non-starch polysaccharides (NSP) and lignin on the mechanical properties of French fries. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 12 /53, (2), 136–140.
- Tajner-Czopek A., Figiel A, Carbonelli-Barrachina A.A., 2008b. Effects of potato strips size and pre-drying methods on French fries quality. *Eur. Food Res. Technol.*, 227, 757–766.
- Tajner-Czopek A., Figiel A. Lisińska G., 2007a. The effect of pre-drying method on the quality and mechanical properties of French fries. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 57, 4 (c), 555–562.
- Tajner-Czopek A., Figiel A., Rytel E., 2007b. Effect of potato strips pre-drying methods on French fries quality. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2007, 57, 2(A), 175–181.
- Tajner-Czopek A., Kita A., Aniołowski K., Lisińska G. 2009b.: Determination of acrylamide content in fried potato products, [in:] *New Concepts in Food Evaluation. Nutraceuticals, Analyses, Consumer.* T. Trziszka, M. Oziembłowski (eds.), 281–289.
- Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska G., 2008a. Zawartość akrylamidu we frytkach w zależności od temperatury i czasu smażenia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 530, 371–379.
- Tajner-Czopek A., Kita A., Lisińska A., 2009a. Wpływ typu oleju na zawartość akrylamidu oraz barwę smażonych produktów przekąskowych. *Bromat. Chem. Toksyko.*, XLII, 3, 498–502.
- Tajner-Czopek A., Lisińska G., 2004. Wpływ blanszowania na jakość frytek ziemniaczanych. *Biul. IHAR.*, 232, 285–294.
- Talbur W. F., Smith O. 1987. *Potato Processing.* (4 ed.). Avi Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- 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, 4998–5006.
- Taubert D., Harlfinger S., Henkes L., Berkels R., Schoming E., 2004. Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 2735–2739.
- van Loon W.A.M., Visser J., Linssen J.P.H, Somsen D.J, Klok H. J., Voragen A.G.J., 2007. Effect of pre-drying and par-frying conditions on the crispness of French fries. *Eur. Food Res. Technol.*, 225, (5), 929–935.
- van Marle J.T., Dijk C. van, Voragen A.G.J., Biekman E.S.A., 1994. Comparison of the cooking behavior of the potato cultivars Nicola and Irene with respect to pectin breakdown and the transfer of ions. *Potato Res.*, 37, 183–195.
- van Marle J.T., Stolle-Smits T., Donkers J., van Dijk C., Voragen A.G.J., Recourt K., 1997. Chemical and microscopic characterization of potato (*Solanum tuberosum* L.) cell walls during cooking. *J. Agric. Food Chem.*, 45, 50–58.
- Vang Hendriksen H., Stringer M., Ernst S., Held-Hansen P., Schafermayer R., Corrigan P., 2006. *Novozymes A/S/ Procter and Gamble Inc.*, Patent No. WOO6053563.
- Vattem D.A., Shetty K., 2003. Acrylamide in food: a model for mechanism of formation and its reduction. *Innov. Food Sci. Emerg. Tech.*, 4, 331–338.
- Vitrac O., Trystram G., Raoult-Wack A. L., 2000. Deep-fat frying of food: Heat and mass transfers, transformation and reactions inside the frying material. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 102(8/9), 529–538.
- Voragen A.G.J., Coenen G.J., Vewrhoek R.P., Schols H.A., 2009. Pectin, aversatile polysaccharide present in plant cell walls. *Struc. Chem.*, 20, 262–275.

- Wang J., Xiong Y.S., Yu Y., 2004. Microwave drying characteristic of potato and the effect of different microwave powers on the dried quality of potato. *Eur. Food Res. Technol.*, 219, 500–506.
- Weisshaar R., 2004. Acrylamide in heated potato products-analytics and formation routes. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 106, 786–792.
- Weisshaar R., Gutsche, G., 2002. Formation of acrylamide in heated potato products-model experiments pointing to asparagine as precursor. *Deutsche Lebensm. Rund.*, 98, 397–400.
- Whitfield F.B., 1992. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 31, 1–58.
- Williams J.S.E., 2005. Influence of variety and processing conditions on acrylamide levels in fried potato crisps. *Food Chem.*, 90, 875–881.
- Wilson K.M., Rimm E.B., Thompson K.M., Mucci L.A., 2006. Dietary acrylamide and cancer risk in humans: A review. *J. Verbrau. Lebens.*, 1, 19–27.
- Yaylayan V.A., Locas C.P., Wnorowski A., O'Brien J., 2004. The role of creatine in the generation of N-methylacrylamide: A new toxicant in cooked meat. *J. Agric. Food Chem.*, 52, 5559–5565.
- Yaylayan V.A., Wnorowski A., Locas C.P., 2003. Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 1753–1757.
- Yuan Y., Chen F., Zhao G.H., Liu J., Zhang H.X., Hu X.S., 2007. A comparative study of acrylamide formation induced by microwave and convectional heating methods. *J. Food Sci.*, 72, C212–C216.
- Zgórska K., 2004. Wpływ warunków meteorologicznych w czasie wzrostu rośliny na akumulację sacharydów w bulwach ziemniaka w czasie przechowywania. *Mat. III Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie”*. Polanica, 10–13 maja 2004, 110–111.
- Zgórska K., 2005. Zmiany cech technologicznych bulw ziemniaka w czasie przechowywania. *Ziemniak Polski*, 4, 26–28.
- Zgórska K., Czerko Z., 2006. Rekondycjonowanie bulw przechowywanych w niskiej temperaturze – metoda ograniczająca zawartość cukrów w bulwach ziemniaka. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 511, 547–556.
- Zgórska K., Frydrecka-Mazurczyk A., 1982. Wpływ warunków wegetacji i temperatury przechowywania na zmiany cech jakości 26 odmian. *Biul. IHAR*, 28, 135–145.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 1976. Czynniki kształtujące cechy jakości wymagane przy ziemniakach przeznaczonych do bezpośredniego spożycia i do przerobu na produkty spożywcze. *Biuletyn Instytutu Ziemniaka*, 18, 163–188.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 1999a. Wpływ warunków uprawy i przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Mat. Konf. Nauk „Ziemniak jadalny i dla przetwórstwa spożywczego – czynniki agrotechniczne i przechowalnicze warunkujące jakość”*. Radzików 23–25 luty 1999, 85–87.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 1999b. Zmiany zawartości cukrów redukujących i sacharozę podczas przechowywania bulw w zróżnicowanych temperaturach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 469, 165–172.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2000a. Przechowywanie ziemniaka do konsumpcji i przetwórstwa. *Mat. II Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie”*. Polanica, 8–11 maja 2000, 33–39.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2000b. Wpływ terminu zbioru i warunków przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Mat. II Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie”*. Polanica, 8–11 maja 2000, 161.

- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2000c. Wpływ warunków w czasie wegetacji oraz temperatury przechowywania na cechy jakości ziemniaków przeznaczonych do przetwórstwa. *Biul. IHAR.*, 213, 239–251.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2002a. Normy i wymagania jakościowe ziemniaków jadalnych oraz do przetwórstwa spożywczego, [w:] *Produkcja i rynek ziemniaków jadalnych*, J. Chotkowski (red.). Wyd. Wieś Jutra, Warszawa., 183–192.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2002b. Rozmieszczenie suchej masy i cukrów redukujących i sacharozy w bulwach ziemniaka w czasie wegetacji i przechowywania. *Mat. II Konf. Nauk. „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie”*. Polanica, 13–16 maja 2002, 116–117.
- Zgórska K., Frydecka-Mazurczyk A., 2003. Wpływ warunków przechowywania na cechy jakościowe ziemniaków przeznaczonych na różne kierunki użytkowania. *Mat. Konf. „Znaczenie odmiany w agrotechnice i przechowalnictwie ziemniaka”*, Jadwisin, 26–27 marca 2003, 46.
- Zhang Y., Chen J., Zhang X., Wu X., Zhang Y., 2007. Addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and French fries. *J. Agric. Food Chem.*, 55, 523–528.
- Zhang Y., Zhang G., Zhang Y., 2005. Occurrence and analytical methods of acrylamide in heated foods. Review and recent developments. *J. Chromatogr. A.*, 1075, 1–21.
- Zhang Y., Zhang Y., 2008. Effect on natural antioxidants on kinetic behavior of acrylamide formation and elimination in low-moisture asparagines-glucose model system. *J. Food Sci.*, 85, 105–115.
- Zyzak D.V., Sanders R.A., Stojanovic M., Tallmadge D.H., Eberhart B.L., Ewald D.K., Gruber D.C., Morsch T.R., Strothers M.A., Rizzi G.P., Villagran M.D., 2003. Acrylamide formation mechanism in heated foods. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 4782–4787.

8. OBJAŚNIENIA

AA	– akrylamid
CMC	– karboksymetyloceluloza
CS	– control sample
FAO	– Organizacja ds. Żywności i Rolnictwa (Food and Agriculture Organisation)
HPMC	– hydroksypropylo-metyloceluloza
LSD	– least significant difference
MC	– metyloceluloza
NIR	– najmniejsza istotna różnica
PG	– poligalakturonaza
PK	– próba kontrolna
QDA	– Ilościowa Analiza Opisowa (Quantitative Descriptive Analysis)
TPA	– Profilowa Analiza Tekstury (Texture Profile Analysis)
WHO	– Światowa Organizacja Zdrowia (World Health Organization)

THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL TREATMENTS ON THE PROPERTIES OF FRENCH FRIES POTATO AND ACRYLAMIDE CONTENT

S u m m a r y

Searching for efficacious method directed to the production of French fries of the best sensory features (proper colour, low fat content, suitable crunchy consistence and flavour-specific for fried potato) shall be taken into account the possibility of acrylamid – a toxic compound creation during French fries processing. The search in the area of the selection of potato variety and the parameters of chosen stages of French fries processing just brought out, in partly, expected results. Anyway, there are still necessary studies concerning new solutions and efficient method made possible the obtaining of French fries characterized by required quality and proportionally low acrylamide content.

The research aim of the work was to settle the influence of raw material and applied treatments in French fries production on their colour, consistence, fat and acrylamide content.

On the base of carried over studies it was stated that potatoes of “Innovator” cultivar contained the least reducing sugars in tubers and accumulated about 55% less sugars after storing in the temperature of 4°C when compared with “Felsina” and “Santana” cultivars. The significant relation between French fries colour and the quantity of formed acrylamide had been confirmed. French fries manufactured from “Innovator” cultivar characterized the best colour and the lowest AA content (about 27% less in half-product and about 60% less in final French fries) in comparison to French fries produced from the remaining cultivars.

Along with the increase of the temperature and time of blanching the quantity of reducing sugars released from potato strips increased and acrylamide declined in French fries after Ist and IInd stage of frying. The most profitable occurred blanching treatment conveyed in water of the temperature of 60°C for 15 min or in the temperature of 80°C for 5 min and obtained French fries characterized suitable texture, proper colour and significant lower AA content (in average on the level of 196 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Blanching of potato strips in 1% pectin solution was profitable with regard to the formation of French fries sensory features. It affected a decrease of fat content in half product by about 24% and in French fries by about 21% in comparison with control sample. Moreover, ready product characterized of suitable texture (19 N), good colour and significantly lower AA content when compared with samples prepared after blanching in pectin solutions of higher concentration (2 and 4%).

The application of 0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ addition of Pectinex Ultra SP-L preparation for blanching significantly increase reducing sugars content in potato strips, however it let to keep good colour of French fries and proportionally low AA content. There was also found a decrease of fat content when compared with control sample (by 5%). The utilization of pectin preparation

in the concentration of $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ made the colour of French fries significantly worse, caused the increase of AA content but also declined fat content (by about 12%) and influenced on the improve of the texture of ready product.

Pre-drying of potato strips by vacuum-microwave and convection method affected on the decrease of fat content in French fries, in turn by about 22% and by about 12% in comparison with not pre-dried sample. The process of vacuum-microwave drying improved the texture of French fries and keep the colour of ready product on the proportionally good level along with simultaneously slight increase of acrylamide content. Pre-drying by convection method substantially made worse the texture and colour of French fries and increased AA content by six time when compared with control sample.

An increase of frying temperature from 130°C to 190°C significantly affected on French fries quality formation. Samples fried in the oil of the temperature of 175°C characterized of the most profitable features. Fat content in ready product declined by about 18% in comparison with French fries fried in 130°C , their texture and colour were suitable and they contained by about 28% less AA when compared with samples fried in the temperature of 190°C .

Carried over research let to precise resumed conclusion. To achieve the expected (of high quality) sensory features of French fries and proportionally low acrylamide and fat content in ready product, Innovator – “cold storage” potato cultivar shall be directed for processing, which is characterized by low content of reducing sugars in tubers before and after storage in the low temperature conditions. Potato strips need to be blanched in water of the temperature of 60°C for 15 min or in 80°C for 5 min. Blanching in the 1% solution of pectin or with the addition of $0,5 \text{ g L}^{-1}$ Pectinex Ultra SP-L preparation also appears enough profitable effect on the quality of French fries formation. There is better to use vacuum-microwave method for potato strips pre-drying instead of convection method. French fries shall be fried in the oil heated to temperature not higher than 175°C and for 3 minutes.

Key words: potatoes, technological treatments, French fries, acrylamide

WPLYW ZABIEGÓW TECHNOLOGICZNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI FRYTEK ZIEMNIACZANYCH I ZAWARTOŚĆ AKRYLAMIDU

Streszczenie

Poszukując skutecznego sposobu pozwalającego na uzyskanie frytek o jak najlepszych cechach organoleptycznych (prawidłowej barwie, niskiej zawartości tłuszczu, odpowiedniej, chrupkiej konsystencji oraz smaku i zapachu typowym dla usmażonego ziemniaka), należy uwzględnić fakt powstawania w czasie procesu technologicznego otrzymywania frytek toksycznego związku – akrylamidu. Poszukiwania w zakresie doboru odmiany ziemniaka oraz parametrów wybranych etapów procesu technologicznego produkcji frytek przyniosły już częściowo oczekiwane rezultaty. Nadal jednak muszą być prowadzone badania dotyczące nowych rozwiązań oraz skutecznej metody umożliwiającej uzyskanie frytek o wymaganej jakości i stosunkowo niskiej zawartości akrylamidu.

Celem pracy było ustalenie wpływu surowca i zastosowanych zabiegów technologicznych w procesie otrzymywania frytek na ich barwę, konsystencję oraz zawartość tłuszczu i akrylamidu.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że ziemniaki odmiany „Innovator” zawierały najmniej cukrów redukujących w bulwach oraz gromadziły o około 55% mniej cukrów po przechowywaniu w temperaturze 4°C niż odmiany „Felsina” i „Santana”. Potwierdzono istotną zależność pomiędzy barwą frytek a ilością wytworzonego akrylamidu. Frytki sporządzone z ziemniaków odmiany „Innovator” miały najlepszą barwę oraz najniższą zawartość AA (o około 27% mniej w półprodukcie i o około 60% mniej w gotowych frytkach) w porównaniu z frytkami z pozostałych odmian.

Wraz ze wzrostem temperatury i czasu blanszowania zwiększała się ilość wypłukiwanych z krajanki cukrów redukujących oraz zmniejszała zawartość akrylamidu we frytkach po I i II stopniu smażenia. Blanszowanie krajanki sporządzonej z ziemniaków odmiany „Innovator” w wodzie o temperaturze 60°C przez 15 min lub w 80°C przez 5 min było najkorzystniejsze, a otrzymane frytki charakteryzowały się odpowiednią teksturą, właściwą barwą oraz istotnie niższą ilością AA (średnio na poziomie 196 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Blanszowanie krajanki ziemniaczanej w 1% roztworze pektyn korzystnie wpłynęło na cechy organoleptyczne frytek, obniżyło zawartość tłuszczu w półprodukcie o około 24% i we frytkach o około 21% w porównaniu z próbą kontrolną. Ponadto frytki charakteryzowały się właściwą teksturą (19 N) i barwą oraz istotnie niższą zawartością AA w porównaniu z próbami uzyskanymi po blanszowaniu w wyższym stężeniu pektyn (2 i 4%).

Dodatek 0,5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu Pectinex Ultra SP-L do blanszowania istotnie zwiększył zawartość cukrów redukujących w krajance, pozwolił jednak na zachowanie dobrej barwy frytek i stosunkowo niskiej zawartości AA. Obniżył także o około 5% zawartość tłuszczu w gotowym

produkcie w porównaniu z próbą kontrolną. Zastosowanie preparatu w ilości ($2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) istotnie pogorszyło barwę frytek i zwiększyło zawartość AA, ale również istotnie obniżyło zawartość tłuszczu (o około 12%) i wpłynęło na poprawę tekstury gotowego produktu.

Podsuszanie krajanki metodami mikrofalowo-próżniową oraz konwekcyjną obniżyło zawartość tłuszczu we frytkach o odpowiedni około 22% i o około 12% w porównaniu z próbą niepodpuszaną. Podsuszanie mikrofalowo-próżniowe poprawiło teksturę frytek oraz utrzymało w miarę dobrą barwę gotowego produktu przy stosunkowo niewielkim zwiększeniu zawartości akrylamidu. Podsuszanie konwekcyjne istotnie pogorszyło teksturę i barwę frytek oraz zwiększyło sześciokrotnie zawartość AA w porównaniu z próbą kontrolną.

Zwiększenie temperatury smażenia ze 130°C do 190°C miało istotny wpływ na kształtowanie jakości frytek. Próby smażone w oleju o temperaturze 175°C charakteryzowały się najkorzystniejszymi cechami. Zawartość tłuszczu w takich frytkach obniżyła się o około 18% w porównaniu z próbami smażonymi w 130°C , miały one również odpowiednią teksturę i barwę oraz zawierały o około 28% mniejszą ilość AA w porównaniu z próbami smażonymi w temperaturze 190°C .

Przeprowadzone badania umożliwiły wyciągnięcie końcowego wniosku. W celu uzyskania odpowiednich (oczekiwanych) cech organoleptycznych frytek i stosunkowo niskiej zawartości akrylamidu oraz tłuszczu należy do przerobu kierować odmianę „cold storage” Innovator, która charakteryzuje się niską zawartością cukrów redukujących w bulwie przed i po przetrzymywaniu w niskiej temperaturze. Błanszowanie krajanki powinno być prowadzone w wodzie o temperaturze 60°C przez 15 min lub w 80°C przez 5 min. Zastosowanie do blanszowania pektyn w ilości 1% lub dodatku $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ preparatu Pectinex Ultra SP-L również ma w miarę korzystny wpływ na kształtowanie jakości frytek. Do podsuszania krajanki najlepiej stosować metodę mikrofalowo-próżniową zamiast konwekcyjnej. Smażenie frytek natomiast powinno być prowadzone w temperaturze oleju nie większej niż 175°C przez 3 minuty.

Słowa kluczowe: ziemniaki, zabiegi technologiczne, frytki, akrylamid