



Raport końcowy

Badania Naukowe

Zgodnie z umową nr 1/ZMT/2024

Który olej rzepakowy wybrać do smażenia – rafinowany czy tłoczony na zimno? Analiza parametrów jakościowych tłuszczu i bezpieczeństwa produktów smażonych

Which rapeseed oil should you choose for frying - refined or cold-pressed? Analysis of fat quality parameters and safety of fried products

Zamawiający: Polskie Stowarzyszenie Producentów Oleju

Wykonawca: Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Technologii Mięsa i Tłuszczu

Koordynatorzy pracy ze strony wykonawcy:
dr inż. Sylwia Onacik-Gür
prof. dr hab. inż. Stanisław Ptasznik

Zatwierdził:
dr inż. Piotr Szymański



31 marca 2026

Spis treści

1. Wstęp.....	5
2. Materiał i Metodyka	7
2.1. Materiały	7
2.1.1. Placki ziemniaczane	7
2.1.2. Kotlety wołowe	7
2.2. Metodyka smażenia placków ziemniaczanych	7
2.3. Metodyka smażenia kotletów wołowych	7
2.4. Analiza jakości olejów	7
2.5. Analiza zawartości związków polarnych	8
2.6. Analiza składu kwasów tłuszczowych	8
2.7. Analiza składu steroli	8
2.8. Analiza zawartość oksysteroli	8
2.9. Analiza zawartości akrylamidu w plackach po smażeniu	8
2.10. Analiza zawartości zawartości heterocyklicznych amin aromatycznych w kotletach wołowych po smażeniu	8
2.11. Analiza barwy placków ziemniaczanych i kotletów wołowych po smażeniu	8
2.12. Analiza sensoryczna placków i kotletów wołowych	9
3. Omówienia wyników	10
3.1. Analiza podstawowa olejów rzepakowych.....	10
3.2. Zmiany oksydacyjne zachodzące w olejach podczas płytkiego smażenia placków ziemniaczanych	12
3.3. Parametry barwy placków ziemniaczanych po smażeniu.....	14
3.4. Zawartość akrylamidu w plackach po smażeniu	15
3.5. Ocena sensoryczna placków ziemniaczanych.....	16
3.6. Zmiany oksydacyjne zachodzące w olejach podczas płytkiego smażenia kotletów wołowych	19

3.7. Parametry barwy kotletów wołowych po smażeniu.....	21
3.8. Zawartość heterocyklicznych amin aromatycznych w kotletach wołowych po smażeniu	22
3.9. Ocena sensoryczna kotletów wołowych.....	23
4. Podsumowanie.....	26
5. Literatura.....	28

1. Wstęp

W Polsce najpopularniejszym olejem wykorzystywanym w gospodarstwach domowych jest rafinowany olej rzepakowy. Spożywanie go jest zalecane przez dietetyków ze względu na korzystny żywieniowo skład kwasów tłuszczowych. Około 60% całej puli kwasów tłuszczowych stanowi kwas oleinowy. Ze względu na bardzo dobrą odporność na utlenianie ma istotne znaczenie dla stabilności olejów. Kwas ten ma również korzystny wpływ na organizm człowieka i wspomaga obniżanie poziomu cholesterolu we krwi. Z żywieniowego punktu widzenia najistotniejsze są jednak wielonienasycone kwasy tłuszczowe należące do grup n-3 i n-6. W oleju rzepakowym występują one odpowiednio w ilości około 10 i 20 %. Należą one do tzw. niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych i są kwasami egzogennymi, czyli nie są wytwarzane przez organizm i muszą być dostarczone z dietą. NNKT są składnikiem budulcowym komórek, biorą udział w wielu procesach metabolicznych, wpływają korzystnie na poziom cholesterolu we krwi oraz utrzymanie prawidłowego ciśnienia, mają właściwości przeciwnowotworowe oraz mogą zmniejszyć ryzyko wystąpienia chorób oczu takich, jak jaskra.

Najbardziej rozpowszechnionym olejem na polskim rynku detalicznym jest rafinowany olej rzepakowy, jednak coraz większą popularność zyskują oleje tłoczone w największej ilości rzepakowy. Głównym powodem zainteresowania olejami tłoczonymi jest ich wysoka wartość żywieniowa i właściwości sensoryczne. Olej tłoczony rzepakowy powstaje w wyniku wytłoczenia oleju z dojrzałych nasion rzepaku. Szczególnie cenione są oleje tłoczone na zimno, przy których produkcji temperatura nie przekracza 40°C. Kontrola temperatury jest istotna w celu otrzymania produktu o bardzo wysokich parametrach jakościowych. Oleje tłoczone charakteryzują się wysoką zawartością substancji lipidowych takich jak: sterole, związki fenolowe, karotenoidy, chlorofil, tokoferole, fosfolipidy. Fitosterole są substancjami przypominającymi swoją budową cząsteczkę cholesterolu, jednak ich znaczenie biologiczne w ludzkim organizmie jest korzystnie inne. Spełniają one funkcje blokujące wchłanianie cholesterolu. Spożywanie z dietą steroli roślinnych może pomóc w utrzymaniu prawidłowego stężenia cholesterolu we krwi, a co za tym idzie zmniejszyć ryzyko chorób układu sercowo-naczyniowego. Olej rzepakowych charakteryzuje się wysoką zawartością fitosteroli w zakresie 633-881 mg/100ml w porównaniu do innych olejów tłoczonych na zimno – lnianego (475 mg/100g), lniankowego (511 mg/100g) i oliwy z oliwek (210 mg/100g). Tokoferole, czyli substancje wykazujące aktywność witaminy E posiadają właściwości przeciwutleniające. Chronią one organizm przed stresem oksydacyjnym. Tokoferole odgrywają również ważną funkcję przeciwutleniającą chroniącą olej przed jełczeniem. Są one obecne zarówno w olejach rafinowanych jak i tłoczonych, jednak w przypadku tych pierwszych są częściowo usuwane w procesie rafinacji, a następnie dodawane do poziomu typowego dla olejów. W związku z brakiem procesu rafinacji oleje tłoczone zawierają substancje pochodzące z surowca wpływające na smak i zapach oleju. Olej rzepakowy charakteryzuje się typowym smakiem dla roślin z gatunku *Brassica* – kapustowatych, ma również intensywnie żółto zielony kolor. Nie wszystkie substancje obecne w olejach tłoczonych są pożądanymi – należą do nich pozostałości metali ciężkich, związki fosforowe, produkty utleniania, wolne kwasy tłuszczowe, pozostałości środków ochrony roślin, wielopierścieniowe węglowodory

aromatyczne. Część z tych substancji może przyspieszać utlenianie – jełczenie oleju, a inne są niekorzystne żywieniowo i zdrowotnie. Substancje te w maksymalnej ilości są usuwane z oleju w procesie rafinacji. Proces ten polega na oczyszczaniu oleju ze składników niekorzystnych. Oleje rafinowane posiadają dłuższy termin przydatności do spożycia w stosunku do tłoczonych, mają neutralny smak, zapach oraz jasny kolor i to jest ich zaletą.

Smażenie jest bardzo popularną metodą przygotowywania żywności. W warunkach gastronomicznych i w przemyśle popularne jest tzw. głębokie smażenie. W gospodarstwach domowych dużo częściej stosuje się „płytkie” smażenie na patelni, czyli w cienkiej warstwie tłuszczu. Przy takiej obróbce termicznej olej stanowi zwykle około 5-10% masy w stosunku do smażonego produktu. Mała ilość tłuszczu wykorzystywana podczas płytkiego smażenia jest istotnym czynnikiem ekonomicznym wpływającym na wybór tej metody. W przypadku takich potraw jak – placki, racuchy, naleśniki ta metoda smażenia jest również konieczna ze względu na formowanie się kształtu produktu w stosunku do powierzchni patelni.

W płytkim smażeniu z powodu mniejszej ilości wykorzystywanego tłuszczu, jego powierzchnia kontaktu z powietrzem jest dużo większa, co wpływa istotnie na przyspieszenie utleniania. W związku z dużo niższą masą tłuszczu na patelni w stosunku do produktu, tłuszcz ten wraz z produktami utleniania jest w znacznej ilości absorbowany przez produkt.

Celem pracy była analiza wpływu smażenia w płytkiej warstwie na oleju rzepakowym rafinowanym i tłoczonym na zimno na jakość placków ziemniaczanych i kotletów wołowych oraz ich bezpieczeństwo ze szczególnym uwzględnieniem zmian oksydacyjnych w tłuszczach smaźalniczych, powstawania oksysteroli oraz powstania akrylamidu w plackach ziemniaczanych i heterocyklicznych amin aromatycznych w kotletach wołowych.

2. Materiał i Metodyka

2.1. Materiały

2.1.1 Placki ziemniaczane

Do badań wykorzystano rafinowany olej rzepakowy (RO), olej rzepakowy tłoczony na zimno oraz placki ziemniaczane (Skład: ziemniaki (88,5%), cebula (5,2%), olej roślinny (rzepakowy, słonecznikowy), modyfikowana skrobia ryżowa, sól) (Aviko Sp. z o.o.).

2.1.2. Kotlety wołowe

Kotlety były zrobione z tej samej partii mięsa wołowego (Sokołów S.A., Polska dla Auchan, Pochodzenie Polska, ubój w Polsce (PL 30090201 WE), podzielone w Polsce (PL 30090201 WE) o zawartości tłuszczu poniżej 20% i stosunku kolagenu do białka poniżej 15%). Do formowania kotletów o masie 100 g wykorzystywano formę w kształcie koła o średnicy 7,5 cm. Przygotowane kotlety były smażone w czasie do 5 minut od ich przygotowania.

2.2. Metoda smażenia placków ziemniaczanych

Placki ziemniaczane były smażone na dwóch różnych olejach: rzepakowym rafinowanym oraz rzepakowym tłoczonym na zimno. Dodatkową zmienną były dwie temperatury smażenia 170 i 180 °C. Na patelni elektrycznej (HENDI 239506, Hendi sp. z o.o., Polska) o średnicy 60 cm wylewano 300 ml oleju, następnie rozgrzewano patelnię do osiągnięcia pożądanej temperatury. 5 placków o masie 60 ± 3 g kładziono na rozgrzanym oleju i smażono po 5 minut z każdej strony. Po odpowiednim czasie smażenia placki były zdejmowane z patelni i odkładane na talerz do ostygnięcia. Placki przeznaczone do dalszych analizy zawartości akrylamidu były pakowane w torebki próżniowe i przechowywane i zamrażane do czasu wykonania analizy.

2.3. Metoda smażenia kotletów wołowych

Burgery były smażone na patelni elektrycznej (HENDI 239506, Hendi sp. z o.o., Polska) o średnicy 60 cm w 300 ml oleju. Po wcześniejszym rozgrzewaniu patelni do osiągnięcia pożądanej temperatury. Proces smażenia trwał 12 min, gdzie w odstępach 3 minut przewracano kotlety. Długość czasu smażenia była ustalana dla niższej temperatury (170 °C), tak aby w środku kotleta temperatura osiągnęła 70 °C. Burgery były smażone w 2 różnych temperaturach 170 i 180 °C.

2.4. Analiza jakości olejów

Po każdym smażeniu próbka medium smaźalniczego była pobierana do analizy liczby kwasowej, nadtlenkowej i anizydynowej, które oznaczono zgodnie z normami PN-EN ISO 660:2020, PN-EN ISO 3960:2012 i PN-EN ISO 6885:2016-04. Analizy wykonano w 2 powtórzeniach.

2.5. Analiza zawartości związków polarnych

Olej z patelni po smażeniu placków oraz kotletów był przelewany do czystych szklanych zlewek, a następnie w temperaturze 90 °C analizowany urządzeniem TESTO 270 BT (Testo SE & Co. KGaA, Niemcy) pod kątem zawartości związków polarnych. Analizy wykonano w 3 powtórzeniach.

2.6. Analiza składu kwasów tłuszczowych

Oznaczanie składu kwasów tłuszczowych wykonywano metodą GC (HP 6890 II z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym) wg PN-EN ISO 12966-1:2015-01. Do rozdziału estrów stosowano wysokopolarną kolumnę kapilarną BPX 70 (60 m×0,25 mm, 25 µm). Warunki analizy: temp. kolumny programowana w zakresie 140-210 °C, temp. dozownika: 210 °C, temp. detektora 250 °C, gaz nośny: hel. Analizę wykonano w 2 powtórzeniach.

2.7. Analiza składu steroli

Oznaczanie zawartości steroli wykonywano metodą GC (Agilent 6890 z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym) wg PN-EN ISO 12228:2002 [17]. Do rozdziału stosowano kolumnę kapilarną HP-1 (25 m × 0,20 mm, 0,11 µm). Warunki analizy: temp. kolumny programowana w zakresie 250 – 300 °C, temp. detektora – 310 °C, temp. dozownika – 280 °C, dozowanie próbki dzielnikowe 25:1, gaz nośny – hel.

2.8. Analiza zawartości oksysteroli

Oznaczenie zawartości oksysteroli w tłuszczach posmażalniczych wykonano za pomocą chromatografii gazowej zgodnie z metodyką opisaną przez Rudzińską i wsp. [2005].

2.9. Analiza zawartości akrylamidu w plackach po smażeniu

Przygotowanie próbek do oznaczenia zanieczyszczenia akrylamidem przeprowadzono zgodnie z metodą opisaną przez Roszko i in. (2020). W skrócie, próbki analizowano metodą chromatografii gazowej (GC 7890B, Agilent, Santa Clara, Kalifornia, USA) sprzężoną z pojedynczym spektrometrem masowym kwadrupolowym (5977C, Agilent, Santa Clara, Kalifornia, USA). Jako materiał referencyjny dla akrylamidu wykorzystano materiał certyfikowany dla ERMBD274 (Sigma-Aldrich Production GmbH, Buchs, Szwajcaria). Analizę przeprowadzono w trzech powtórzeniach.

2.10. Analiza zawartości heterocyklicznych amin aromatycznych w kotletach wołowych

Oznaczenie zawartości heterocyklicznych amin aromatycznych (HAA) oznaczono za pomocą chromatografii cieczowej zgodnie z metodyką opisaną przez Rybarską i Przygońskiego [2023].

2.11. Analiza barwy placków ziemniaczanych i koteletów po smażeniu

Pomiar barwy wykonano kolorymetrem (CR-300, Konika Minolta) w systemie CIE Lab. Barwa produktów była analizowana po zakończeniu cyklu smażeń oraz po przechowywaniu. Pomiaru dokonywano 10-krotnie jedynie na powierzchni placków oraz

kotletów. Z otrzymanych danych parametrów barwy wyliczono indeks brązowienia (BI) według wzoru [Verma i Yadav, 2022]:

$$BI = \frac{100 (X - 0,31)}{0,17}$$

Gdzie:

$$X = \frac{a * + 1,75L *}{5,645L * + a * - 3,01b *}$$

L* - parametr barwy określający jasność

a* - parametr określający barwę od zielonej do czerwonej

b* - parametr określający barwę od niebieskiej do żółtej

2.12. Analiza sensoryczna placków i kotletów wołowych

Placki ziemniaczane analizowano metodą analizy ilościowej (QDA) (norma ISO 13299:2016-05). Zestaw cech sensorycznych omówiono, zdefiniowano i zweryfikowano za pomocą testu wstępnego. Przeszkolony zespół składał się z 11 osób — pracowników laboratorium Zakładu Technologii Mięsa i Tłuszczu w IBPRS-PIB. Wszyscy paneliści zostali wybrani zgodnie z normą ISO (ISO 8586:2012). Pół placka z każdej próbki umieszczono w bezwonnych pudełeczkach przykrytych pokrywką i zakodowanych 3-cyfrowymi numerami 30 minut przed oceną. Każdy panelista otrzymał 4 próbki do oceny w losowej kolejności. Ocena odbyła się w temperaturze otoczenia 22 ± 1 °C, a oceniający zostali oddzieleni od siebie, aby uzyskać pełną koncentrację.

Przed rozpoczęciem analizy paneliści zapoznali się z cechami, które będą mierzone podczas oceny sensorycznej. Najpierw oceniano zapach i wygląd zewnętrzny produktów. Następnie analizowano teksturę i cechy smakowe. Paneliści zaznaczali swoje odczucia na skali 10 cm, gdzie 0 (po lewej) oznaczało wartość najniższą, a 10 (po prawej) wartość najwyższą.

3. Omówienie wyników

3.1. Analiza podstawowa olejów rzepakowych

Materiał badawczy stanowiły oleje rzepakowy rafinowany i tłoczony. Charakteryzowały się one bardzo dobrą jakością, zgodnie z Codex Alimentarius wartości liczb kwasowej i nadtlenkowej spełniały normy typowych dla swojej kategorii. Oleje rafinowane nie powinny wyżej wartości liczby kwasowej niż 0,6, a tłoczone 4,0 mg KOH/g. Dla badanego materiału wartości tego parametru wynosiły 0,10 i 2,75 mg KOH/g. Maksymalne wartości dla liczby nadtlenkowej olejów rafinowanych wynosi 10, natomiast dla tłoczonych 20 meq O₂/kg. Analizowane próbki wynosiły odpowiednio 0,00 i 2,23 meq O₂/kg (tabela 1).

Ocena sensoryczna olejów została przeprowadzona przez przeszkolony zespół z Zakładu Technologii Mięsa i Tłuszczu z Instytutu Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego – Państwowego Instytutu Badawczego. Oceny dokonywano zgodnie z normą PN-A-86935 po podgrzaniu olejów do 43 °C. Właściwości sensoryczne były typowe dla swojej kategorii. Olej rzepakowy rafinowany uzyskał ocenę 5 ze względu na obojętny smak i zapach. Olej rzepakowy tłoczony charakteryzował się lekko wyczuwalnym, przyjemnym smakiem i zapachem typowym dla surowca.

Parametrami opisującymi stabilność oksydacyjną olejów są temperatura dymienia i czas indukcji mierzony aparatem Rancimat w 120 °C. Temperatura dymienia była znacząco niższa w przypadku oleju rzepakowego tłoczonego na zimno. Natomiast w przypadku badania stabilności oksydacyjnej różnica ta była niewielka.

Tabela 1. Parametry jakościowe oleju rzepakowego rafinowanego oraz tłoczonego.

	Olej rzepakowy rafinowany	Olej rzepakowy tłoczony
Liczba kwasowa [mg KOH/g]	0,10	2,75
Liczba nadtlenkowa [meq O ₂ /kg]	0,00	2,33
Smakowitość (0-5)	5,0	4,5
Temperatura dymienia [°C]	221	187
Stabilność oksydacyjna [h]	4,25	4,20

Wykorzystane w pracy oleje różniły się nieznacznie pod względem składu kwasów tłuszczowych. Olej rafinowany rzepakowy posiada wyższą zawartość kwasu oleinowego o 2,6%. Kwas ten należy do grupy jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA), które są cenne ze względu na wysoką odporność oksydacyjną. Ponadto olej rafinowany charakteryzował się niższą o 3,2% zawartością wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) w stosunku do oleju tłoczonego. Z punktu widzenia żywieniowego kwasy te są korzystne, jednak ulegają szybkiej degradacji i negatywnie wpływają na stabilność oksydacyjną tłuszczów. Żywieniowo najcenniejsze są kwasy nienasycone z rodziny n-3 ze względu na ich zbyt małą ilość w diecie w stosunku do kwasów n-6. Olej rzepakowy

tłoczony miał niższy stosunek kwasów (n-6):(n-3) wynoszący 2,2, natomiast rafinowany 2,4. Olej rafinowany zawierał 0,3% izomerów *trans* kwasów tłuszczowych (TFA). Oleje roślinne naturalnie nie zawierają kwasów tłuszczowych w konfiguracji *trans*, ich obecność jest związana z zabiegiem technologicznym w procesie rafinacji – deodoryzacją. Do procesu tego wykorzystuje się wysoką temperaturę wynoszącą około 200 °C, która wpływa na zmianę konfiguracji wiązań nienasyconych naturalnie występujących w kwasach tłuszczowych olejów roślinnych z *cis* na *trans*.

Tabela 2. Skład kwasów tłuszczowych oraz steroli oleju rzepakowego rafinowanego oraz tłoczonego na zimno.

	Olej rzepakowy rafinowany	Olej rzepakowy tłoczony
Kwasy tłuszczowe [%]		
14:0	0,1	0,1
16:0	4,3	4,5
16:1	0,2	0,2
17:0	0,1	0,1
17:1	0,1	0,1
18:0	1,6	2,5
18:1 cis 9	60,2	62,1
18:1 cis 11	3,0	2,6
18:2 n 6	18,6	17,1
18:3 trans	0,3	-
18:3 n 3	8,7	8,1
20:0	0,6	0,6
20:1	1,4	1,2
20:2	0,1	0,1
22:0	0,3	0,3
22:1	0,1	0,1
24:0	0,1	0,1
24:1	0,1	0,1
SFA	7,2	8,2
MUFA	65,3	66,5
PUFA	27,4	25,3
TFA	0,3	0,0
n6:n3	2,1	2,1
Sterole [mg/100g]		
brassicasterol	61,8	66,5
campesterol	229,5	226,4
stigmasterol	-	-
β-sitosterol	319,2	305,7
Δ-5-avenasterol	12,1	11,1

Oleje rzepakowe charakteryzują się wysoką zawartością steroli. Fitosterole charakteryzują się właściwościami przeciwutleniającymi, które są bardzo pożądane, jednak

podczas intensywnej oksydacji mogą powstawać oksyfitosterole negatywnie wpływające na zdrowie człowieka.

3.2. Zmiany oksydacyjne zachodzące w olejach podczas płytkiego smażenia placków ziemniaczanych

W badanych próbkach olejów posmażalniczych zaobserwowano zmiany oksydacyjne. Wraz ze wzrostem temperatury smażenia liczba nadtlenkowa (świadcząca o pierwotnych produktach utleniania), liczba anizydynowa (świadcząca o wtórnych produktach utleniania) i zawartość związków polarnych wzrastały. Dla wybranych olejów rzepakowych. Zaobserwowano również wpływ rodzaju oleju (rafinowany - RO/tłoczony na zimno - CPRO) na liczby tłuszczowe. Największą różnicę zaobserwowano dla liczby kwasowej, co jest spowodowane jej wyższym parametrem początkowym. W przypadku liczby nadtlenkowej najbardziej istotna różnica była widoczna w temperaturze 170 °C, gdzie dla oleju rzepakowego rafinowanego (RO) wynosiła 15,67, a dla tłoczonego (CPRO) 18,78 meq O₂/kg. Liczba anizydynowa oraz wskaźnik TOTOX były wyższe dla oleju tłoczonego w obu temperaturach smażenia (Tabela 1).

Tabela 3. Parametry jakościowe olejów po smażeniu placków

Olej	Temperatura smażenia [°C]	Liczba nadtlenkowa [meq O ₂ /kg]	Liczba kwasowa [mg KOH/g]	Liczba anizydynowa	TOTOX	Zawartość związków polarnych [%]
RO	170	15,67 ± 0,89	0,36 ± 0,07	13,57 ± 0,40	44,91	3,0 ± 0,7
CPRO	170	18,78 ± 1,58	0,85 ± 0,05	20,47 ± 6,00	58,03	2,8 ± 0,4
RO	180	19,66 ± 0,77	0,33 ± 0,04	19,60 ± 2,18	58,92	3,3 ± 0,4
CPRO	180	19,85 ± 0,71	0,78 ± 0,04	27,27 ± 2,11	66,97	3,5 ± 0,7

* RO – olej rzepakowy rafinowany, CPRO – olej rzepakowy tłoczony na zimno

Olej rzepakowy rafinowany i tłoczony różniły się od siebie nieznacznie składem kwasów tłuszczowych. Olej tłoczony miał wyższą zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) o 0,8 % oraz jednonienasyconych (MUFA) o 0,7 % i niższą zawartość wielonienasyconych (PUFA) o 1,8 %. Olej rzepakowy rafinowany charakteryzował się obecnością izomerów trans kwasów tłuszczowych (TFA), co jest spowodowane procesem rafinacji, w wyniku którego w wysokiej temperaturze deodoryzacji (>200 °C) powstają kwasy tłuszczowe o konfiguracji trans. W przypadku oleju RO zaobserwowano wyższą zawartość MUFA dla wyższej temperatury smażenia, w CPRO wyższa była również zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA), natomiast poziom wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) spadł (Tabela 2).

Zawartość steroli w olejach była na zbliżonym poziomie w oleju rafinowanym i tłoczonym. Zaobserwowano spadek zawartości steroli po smażeniu, w którym średnio większy spadek zaobserwowano dla wyższych temperatur (Tabela 3). Sterole obecne w olejach w wysokiej temperaturze ulegają oksydacji do oksysteroli. Substancje te są cytotoksyczne i ich nadmierne spożywanie wiąże się ze zwiększonym ryzykiem powstawania chorób sercowo-naczyniowych oraz neurodegeneracyjnych. W badanych

próbkach zaobserwowano ich większą zawartość w tłuszczach smażonych w wyższej temperaturze. Najmniej oksysteroli było w oleju po smażeniu placków w 170°C w RO.

Tabela 4. Skład kwasów tłuszczowych [g/100g] olejów przed i po smażeniu placków

KT	RO	CPRO	RO 170 °C	CPRO 170 °C	RO 180 °C	CPRO 180 °C
14:0	0,1	0,1	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
16:0	4,3	4,5	4,3 ± 0,1	4,3 ± 0,3	4,1 ± 0,3	4,5 ± 0,1
16:1	0,2	0,2	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,0
17:0	-	0,1	-	0,1 ± 0,0	-	0,1 ± 0,0
17:1	0,1	0,1	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
18:0	1,6	2,5	1,7 ± 0,0	2,0 ± 0,0	1,7 ± 0,0	2,0 ± 0,0
18:1cis9	60,1	62,2	60,1 ± 0,1	62,5 ± 0,2	60,2 ± 0,2	62,5 ± 0,1
18:1cis11	3,0	2,6	2,9 ± 0,0	2,6 ± 0,0	3,0 ± 0,1	2,6 ± 0,0
18:1 c inne	0,2	0,1	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,0
18:2	18,6	17,1	18,7 ± 0,0	17,4 ± 0,1	18,7 ± 0,1	17,3 ± 0,1
18:3 trans	0,3	-	0,3 ± 0,0	-	0,3 ± 0,0	-
18:3 n3	8,7	8,1	8,6 ± 0,1	8,1 ± 0,1	8,6 ± 0,1	8,0 ± 0,1
20:0	0,6	0,6	0,6 ± 0,0	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,0	0,7 ± 0,1
20:1	1,4	1,2	1,4 ± 0,0	1,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	1,2 ± 0,0
20:2	0,1	0,1	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
22:0	0,3	0,3	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,0
22:1	0,1	0,1	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0
24:0	0,1	0,1	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
24:1	0,1	0,1	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0
SFA	7,1	7,9	7,1 ± 0,1	7,6 ± 0,3	6,9 ± 0,3	7,8 ± 0,1
MUFA	65,2	66,5	65,2 ± 0,1	66,9 ± 0,3	65,4 ± 0,2	66,9 ± 0,1
PUFA	27,4	25,6	27,4 ± 0,1	25,5 ± 0,1	27,4 ± 0,1	25,3 ± 0,1
TFA	0,3	-	0,3 ± 0,0	-	0,3 ± 0,0	-

*KT – kwasy tłuszczowe, SFA – nasycone kwasy tłuszczowe, MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe, PUFA – wielonienasycone kwasy tłuszczowe, TFA – izomery trans kwasów tłuszczowych, RO – olej rzepakowy rafinowany, CPRO – olej rzepakowy tłoczony na zimno

Tabela 5. Zawartość steroli i oksysteroli [mg/100g] w olejach przed i po smażeniu placków

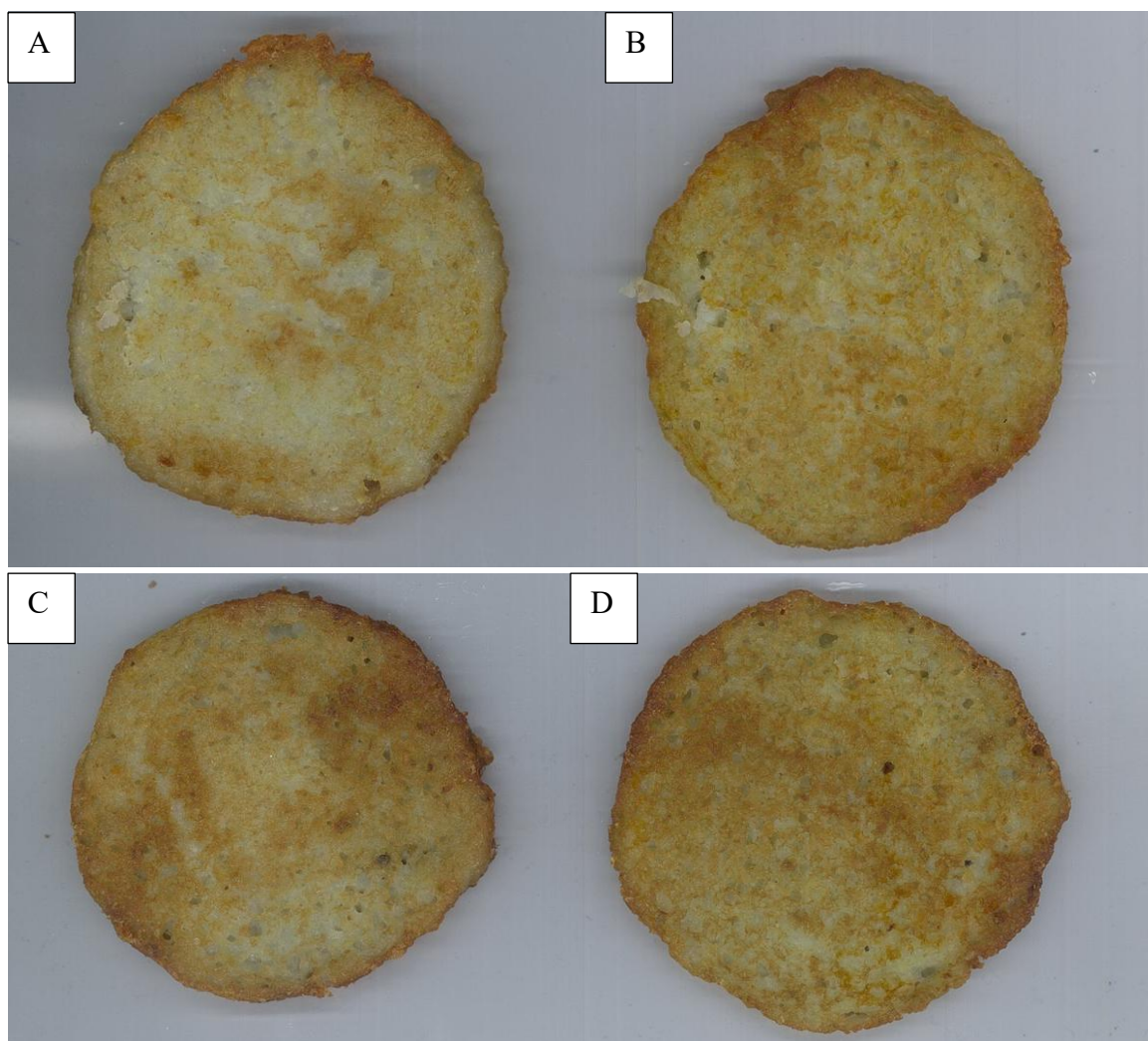
	cholesterol	Brasica-sterol	Campe-sterol	Stigma-sterol	β-sitosterol	Δ-5avena-sterol	Suma steroli	oksysterole
RO	4,3	61,8	229,5	1,0	319,2	11,1	626,9	-
CPRO	4,3	66,5	226,4	1,0	315,7	12,1	626,0	-
RO 170°C	4,3 ± 0,7	60,9 ± 5,8	229,0 ± 11,8	1,5 ± 0,2	316,0 ± 11,9	11,0 ± 1,1	622,6	66,1
CPRO 170°C	4,3 ± 0,7	64,3 ± 3,6	228,4 ± 11,8	1,3 ± 0,1	306,8 ± 14,9	11,8 ± 0,5	616,8	128,8
RO 180°C	3,7 ± 0,3	56,9 ± 4,3	219,1 ± 14,0	1,5 ± 0,1	305,8 ± 19,3	10,0 ± 0,8	596,9	330,7
CPRO 180°C	3,5 ± 0,4	63,8 ± 3,2	226,6 ± 10,0	1,5 ± 0,3	305,1 ± 12,1	11,5 ± 0,6	612,0	231,7

3.3. Parametry barwy placków ziemniaczanych po smażeniu

Parametr barwy L^* w systemie CIELab mówi o jasności próbki. W przeprowadzonej analizie placków zaobserwowano niższą wartość tego parametru dla placków smażonych w wyższej temperaturze, co świadczy, że były ciemniejsze. Parametr barwy a^* określa odchylenie w osi zielono-czerwonej. Wartości ujemne wskazują na kolor zielony, a dodatnie na czerwony. Wyniki badań wskazały wzrost tego parametru w wyższej temperaturze. Parametr barwy b^* dla wartości dodatnich wskazuje na odcienie żółte, natomiast ujemne na niebieskie. Wartość tego parametru była średnio wyższa dla placków smażonych na CPRO. W celu najlepszego zobrazowania parametrów barwy wyliczono indeks brązowienia. W czasie smażenia dochodzi do reakcji Maillarda wpływającej na powstawanie barwy brązowej w produkcie. Wykazano, że IB było znacząco wyższe w plackach smażonych w wyższej temperaturze, ponadto placki CPRO spowodował jeszcze większe zintensyfikowanie brązowej barwy (Tabela 4).

Tabela 7. Parametry barwy placków po smażeniu

Olej	Temperatura smażenia [°C]	L^*	a^*	b^*	BI
RO	170	$55,81 \pm 2,55$	$-3,86 \pm 2,04$	$22,70 \pm 2,55$	$45,74 \pm 12,30$
CPRO	170	$55,77 \pm 2,36$	$-4,23 \pm 2,39$	$24,13 \pm 2,60$	$49,31 \pm 13,22$
RO	180	$52,70 \pm 2,21$	$-0,77 \pm 1,85$	$22,82 \pm 2,59$	$54,49 \pm 13,40$
CPRO	180	$52,07 \pm 3,02$	$-0,39 \pm 2,35$	$25,92 \pm 1,95$	$66,07 \pm 11,55$



Rysunek. 1. Zdjęcie placków ziemniaczanych po wysmażeniu: a) RO – 170 °C, b) CPRO – 170 °C, c) RO – 180 °C, d) CPRO – 180 °C

3.4. Zawartość akrylamidu w plackach

W badaniach zaobserwowano wpływ temperatury na powstawanie akrylamidu w plackach ziemniaczanych. Nie zaobserwowano jednoznacznego wpływu zastosowanego oleju na zawartość tego związku. W temperaturze 170 °C olej rzepakowy tłoczony miał wyższą zawartość akrylamidu, co można tłumaczyć wyższą zawartością wtórnych produktów utleniania, które mogą brać udział w reakcji powstawania tego związku. W temperaturze 180 °C zawartość akrylamidu była wyższa w plackach smażonych na oleju rafinowanym. Taka sytuacja może być spowodowana wyższą zawartością związków polifenolowych wykazujących działanie antyoksydacyjne. Takie substancje są zalecane w ograniczaniu powstawania akrylamidu. Ponadto publikacje naukowe mówią o wpływie kwasowości środowiska na powstawanie akrylamidu. Kwasowość powyżej 0,5 mg KOH/g przyczynia się do inhibicji powstawania akrylamidu podczas smażenia. W oleju CPRO w 180 °C wartość LK wynosiła 0,78 mg KOH/g, natomiast dla RO 0,33 mg KOH/g.

W Rozporządzeniu Komisji (UE) 2017/2158 z dnia 20 listopada 2017 r. ustanawiającym środki łagodzące i poziomy odniesienia służące ograniczeniu obecności

akryloamidu w żywności podane są poziomy odniesienia dla produktów ziemniaczanych smażonych. Dla produktów otrzymanych z masy ziemniaczanej poziom ten wynosi 750 µg/kg. Wynika stąd, że smażenie w temperaturze 180 °C powoduje przekroczenie tych wartości.

Tabela 8. Zawartość akrylamidu w plackach ziemniaczanych po smażeniu

Olej	Temperatura smażenia [°C]	Akrylamid [µg/kg]
RO	170	563,6 ± 52,2
CPRO	170	657,6 ± 50,3
RO	180	959,1 ± 88,2
CPRO	180	754,6 ± 48,2

3.5. Ocena sensoryczna placków ziemniaczanych

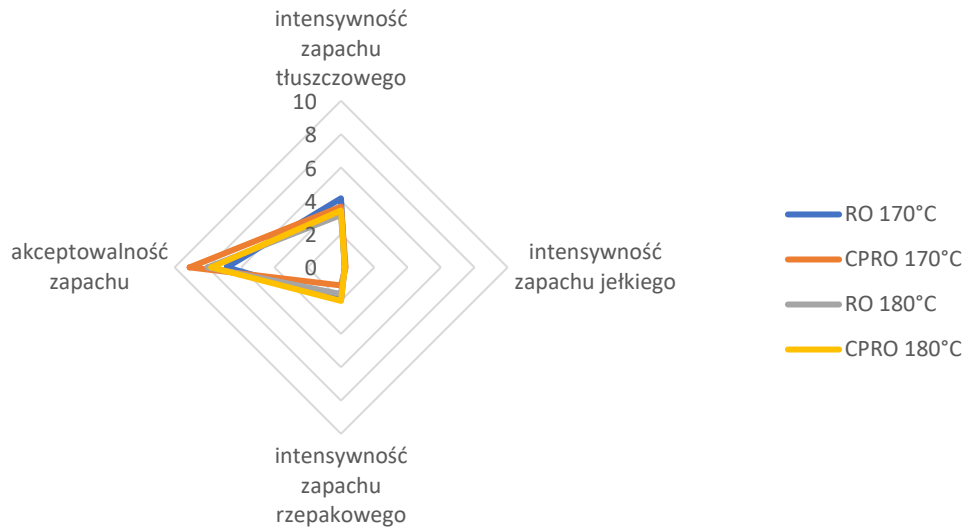
Badania sensoryczne wykazały różnice między plackami smażonymi na oleju rzepakowym rafinowanym oraz tłoczonym. Istotny wpływ miała również temperatura.

W pierwszej kolejności oceniany był zapach po delikatnym odchyleniu wieczka. Najbardziej wyczuwalny zapach tłuszczowy był wyczuwalny dla placków smażonych na oleju rzepakowym rafinowanym (RO). Prawie we wszystkich próbkach zapach zjełczały nie był wyczuwalny, natomiast zapach rzepakowy był wyczuwalny we wszystkich próbkach na zbliżonym poziomie i wahał się od 1,1 dla CPRO 170°C do 2,0 dla CPRO 180°C. Najbardziej akceptowalnym zapachem charakteryzowały się placki smażone w CPRO 180°C i otrzymały średnią ocenę 7,8 (Rysunek 2).

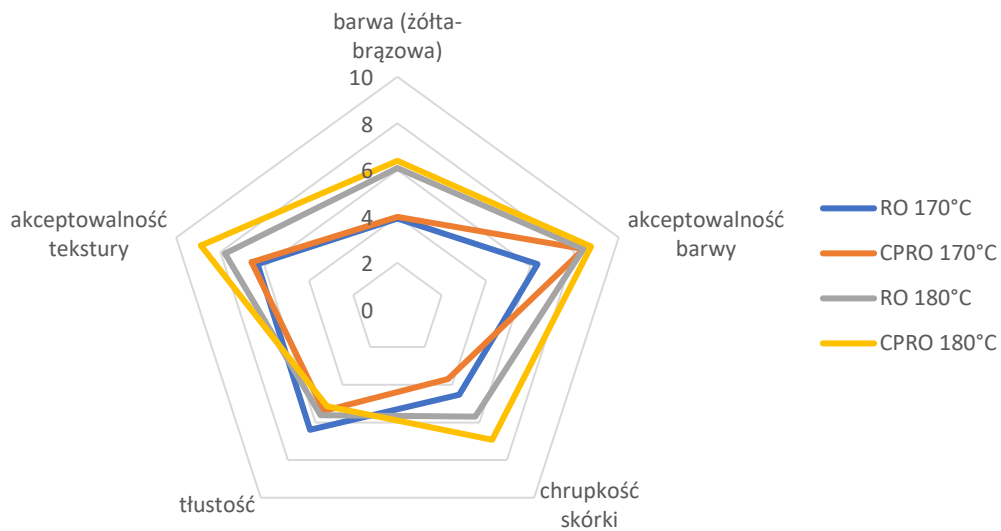
Placki charakteryzowały się zróżnicowaną barwą, co wykazały badania instrumentalne. W badaniach sensorycznych wykazano, że największy wpływ na różnice w barwie miała temperatura smażenia, gdzie dla placków smażonych poziom odcienia od żółtego do brązowego w 170°C wynosił 3,9 dla RO i 4,0 dla CPRO, natomiast w 180°C odpowiednio 6,1 i 6,4. Zaobserwowano, że podobnie wzrastała akceptowalność barwy wraz z wyższą temperaturą – mocniejszym wysmażeniem (Rysunek 3).

W analizie sensorycznej właściwości teksturalne były, tak jak się spodziewano, w głównej mierze zależne od temperatury smażenia. Skórka placków ziemniaczanych była bardziej chrupiąca w przypadku placków smażonych w temperaturze 180°C. Uczucie tłustości w buzi podczas jedzenia placka było odczuwalne we wszystkich próbach na tym samym poziomie. Akceptowalność tekstury wzrastała wraz ze stopniem wysmażenia i najwyższą średnią wartość tego parametru otrzymały w ocenie panelu sensorycznego placki ziemniaczane smażone na oleju rzepakowym tłoczonym na zimno (8,9) (Rysunek 3).

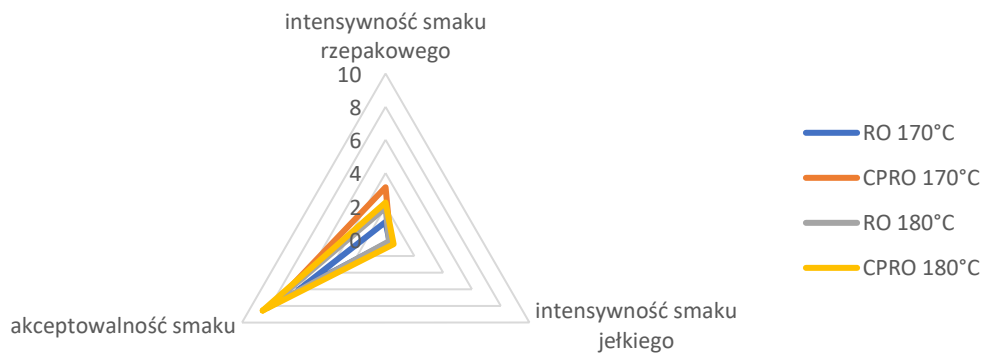
Analiza parametrów smaku była oznaczana pod koniec analizy. Zgodnie z założeniami smak rzepakowy był bardziej wyczuwalny w plackach smażonych na oleju tłoczonym na zimno. Smak zjełczały był praktycznie niewyczuwalny w plackach. Akceptowalność smaku placków ziemniaczanych, podobnie jak w przypadku wcześniejszych wyróżników, była wyższa dla placków smażonych w wyższej temperaturze (Rysunek 4). Najwyższą akceptowalnością smaku charakteryzowały się placki ziemniaczane smażone na oleju rzepakowym tłoczonym w 180 °C i otrzymały średnią ocenę 8,6 (Rysunek 5).



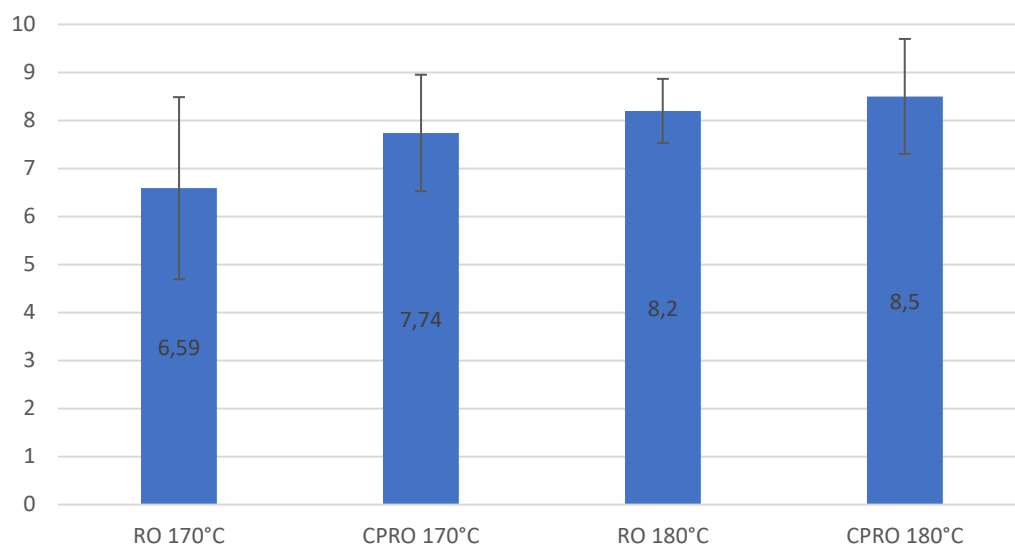
Rysunek 2. Parametry zapachu smażonych placków ziemniaczanych



Rysunek 3. Parametry barwy i tekstury smażonych placków ziemniaczanych



Rysunek 4. Parametry smaku smażonych placków ziemniaczanych



Rysunek 5. Jakość ogólna smażonych placków ziemniaczanych

3.6. Zmiany oksydacyjne zachodzące w olejach podczas płytkiego smażenia kotletów wołowych

W badanych próbkach olejów posmażalniczych zaobserwowano zmiany oksydacyjne. Wraz ze wzrostem temperatury smażenia liczba nadtlenkowa (świadcząca o pierwotnych produktach utleniania), liczba anizydynowa (świadcząca o wtórnych produktach utleniania) i zawartość związków polarnych wzrastały. Dla wybranych olejów rzepakowych. Zaobserwowano również wpływ rodzaju oleju (rafinowany - RO/tłoczony na zimno - CPRO) na liczby tłuszczowe. W przypadku liczby nadtlenkowej najbardziej istotna różnica była widoczna w temperaturze 180 °C, gdzie dla oleju rzepakowego rafinowanego (RO) wynosiła 10,59, a dla tłoczonego (CPRO) 7,35 meq O₂/kg. Liczba anizydynowa oraz wskaźnik całkowitego utleniania oleju (TOTOX) były wyższe dla oleju tłoczonego w obu temperaturach smażenia (Tabela 1).

Tabela 9. Parametry jakościowe olejów po smażeniu kotletów

Olej	Temperatura smażenia [°C]	Liczba nadtlenkowa [meq O ₂ /kg]	Liczba kwasowa [mg KOH/g]	Liczba anizydynowa	TOTOX	Zawartość związków polarnych [%]
RO	170	8,95 ± 0,84	0,66 ± 0,07	13,94 ± 0,17	31,84	2,5 ± 0,6
CPRO	170	8,35 ± 1,56	0,72 ± 0,06	17,65 ± 0,99	34,35	3,0 ± 0,5
RO	180	10,59 ± 0,46	1,30 ± 0,16	21,00 ± 5,20	42,18	3,0 ± 0,3
CPRO	180	7,35 ± 0,61	1,07 ± 0,02	28,74 ± 5,00	43,44	3,5 ± 0,6

* RO – olej rzepakowy rafinowany, CPRO – olej rzepakowy tłoczony na zimno

Oleje posmażalnicze rzepakowy rafinowany i tłoczony różniły się od siebie składem kwasów tłuszczowych. Olej tłoczony (CPRO) miał wyższą zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) oraz jednonienasyconych (MUFA) i niższą zawartość wielonienasyconych (PUFA). Tłuszcze po smażeniu kotletów wołowych zawierały więcej SFA i TFA w porównaniu z olejem po smażeniu placków ziemniaczanych. Ich podwyższona ilość wynika stąd, że tłuszcz wołowy obecny w kotletach wytapiał się i dostawał na patelnię. Tłuszcz pochodzący od zwierząt przeżuwaczy zawiera naturalnie izomery trans kwasów tłuszczowych, głównie C18:1 *trans*, który powstaje w wyniku biouwodornienia w żwaczu. W tłuszczu posmażalniczym CPRO nie zaobserwowano izomerów trans C18:2 *trans* i C18:3 *trans*, które były w RO, ponieważ są to głównie izomery powstające w wyniku procesu rafinacji. Zaobserwowano, że tłuszcz z wyższej temperatury smażenia miał wyższą zawartość nasyconych kwasów tłuszczowych oraz niższą zawartość PUFA (Tabela 10). Sytuacja ta może mieć 2 przyczyny: z jednej strony może wynikać ze zmian spowodowanych degradacją termiczną PUFA, z drugiej strony może być to spowodowane większym wyciekaniem tłuszczu z kotletów wołowych.

Sumaryczna zawartość steroli w oleju rzepakowym tłoczonym na zimno była wyższa w stosunku do oleju rzepakowego rafinowanego. W przypadku oleju rafinowanego spadek zawartości steroli roślinnych był widoczny w stosunku do oleju rzepakowego tłoczonego na zimno. W przypadku obu tłuszczów zaobserwowano podobną tendencję do zwiększenia zawartości cholesterolu – sterolu zwierzęcego pochodzącego z kotletów wraz

ze wzrostem temperatury, co dowodzi, że wraz ze wzrostem temperatury z 170 do 180 °C zwiększył się wyciek tłuszczu z kotletów na patelnię (Tabela 11).

Zawartość oksysteroli była niższa w oleju rzepakowym tłoczonym na zimno, co jest korzystne z punktu widzenia żywieniowego. Sytuacja ta może mieć związek z obecnością naturalnie występujących w oleju związków o właściwościach przeciwutleniających.

Tabela 10. Skład kwasów tłuszczowych olejów przed i po smażeniu kotletów wołowych

KT	RO 170 °C	RO 180 °C	CPRO 170 °C	CPRO 180 °C
14:0	0,51 ± 0,04	0,56 ± 0,01	0,52 ± 0,01	0,55 ± 0,01
14:1	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,00
15:0	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,00	0,10 ± 0,01
16:0	7,77 ± 0,28	8,15 ± 0,14	8,02 ± 0,08	8,29 ± 0,11
16:1	0,93 ± 0,05	1,00 ± 0,02	0,90 ± 0,08	0,98 ± 0,01
17:0	0,19 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,21 ± 0,01
17:1	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,00	0,18 ± 0,01	0,18 ± 0,00
18:0	3,61 ± 0,16	3,89 ± 0,09	3,97 ± 0,00	4,13 ± 0,09
18:1trans	0,20 ± 0,02	0,22 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,21 ± 0,01
18:1cis9	56,79 ± 0,23	56,48 ± 0,07	58,89 ± 0,15	58,76 ± 0,10
18:1cis11	2,73 ± 0,02	2,71 ± 0,01	2,47 ± 0,01	2,47 ± 0,01
18:1 c inne	0,22 ± 0,02	0,24 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,26 ± 0,01
18:2 trans	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0,00	-	-
18:2	16,04 ± 0,21	15,73 ± 0,11	14,86 ± 0,07	14,62 ± 0,09
18:3 trans	0,51 ± 0,03	0,49 ± 0,01	-	-
18:3 n3	7,50 ± 0,11	7,32 ± 0,09	7,00 ± 0,01	6,82 ± 0,08
20:0	0,55 ± 0,01	0,55 ± 0,01	0,60 ± 0,00	0,60 ± 0,00
20:1	1,21 ± 0,01	1,19 ± 0,01	1,04 ± 0,01	1,03 ± 0,00
20:2	0,07 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,06 ± 0,00
22:0	0,26 ± 0,01	0,24 ± 0,00	0,27 ± 0,00	0,27 ± 0,00
22:1	0,17 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,08 ± 0,00	0,07 ± 0,00
24:0	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,09 ± 0,00
24:1	0,12 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,11 ± 0,01	0,10 ± 0,00
SFA	13,05 ± 0,48	13,77 ± 0,27	13,75 ± 0,10	14,23 ± 0,23
MUFA	62,50 ± 0,18	62,27 ± 0,06	64,10 ± 0,05	64,04 ± 0,08
PUFA	23,60 ± 0,31	23,12 ± 0,21	21,93 ± 0,06	21,49 ± 0,17
TFA	0,82 ± 0,01	0,81 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,21 ± 0,01

*KT – kwasy tłuszczowe, SFA – nasycone kwasy tłuszczowe, MUFA – jednonienasycone kwasy tłuszczowe, PUFA – wielonienasycone kwasy tłuszczowe, TFA – izomery trans kwasów tłuszczowych, RO – olej rzepakowy rafinowany, CPRO – olej rzepakowy tłoczony na zimno

Tabela 11. Zawartość steroli i oksysteroli [mg/100g] w olejach po smażeniu kotletów wołowych

	Cholesterol	Brasica-sterol	Campe-sterol	Stigma-sterol	β -sitosterol	Δ -5avena-sterol	Suma steroli	oksysterole
RO 170°C	17,50 ± 0,84	41,43 ± 1,18	147,54 ± 4,70	0,68 ± 0,01	200,26 ± 7,90	6,80 ± 0,22	407,41	323,8
CPRO 170°C	17,02 ± 0,91	45,72 ± 0,54	150,62 ± 2,96	0,67 ± 0,10	196,26 ± 3,81	7,58 ± 0,17	410,28	21,2
RO 180°C	20,42 ± 1,00	40,96 ± 0,59	145,95 ± 2,96	0,72 ± 0,04	195,92 ± 4,29	6,79 ± 0,15	403,97	486,0
CPRO 180°C	19,52 ± 0,33	46,33 ± 1,41	153,46 ± 5,35	0,72 ± 0,05	200,93 ± 7,48	7,58 ± 0,20	420,96	60,0

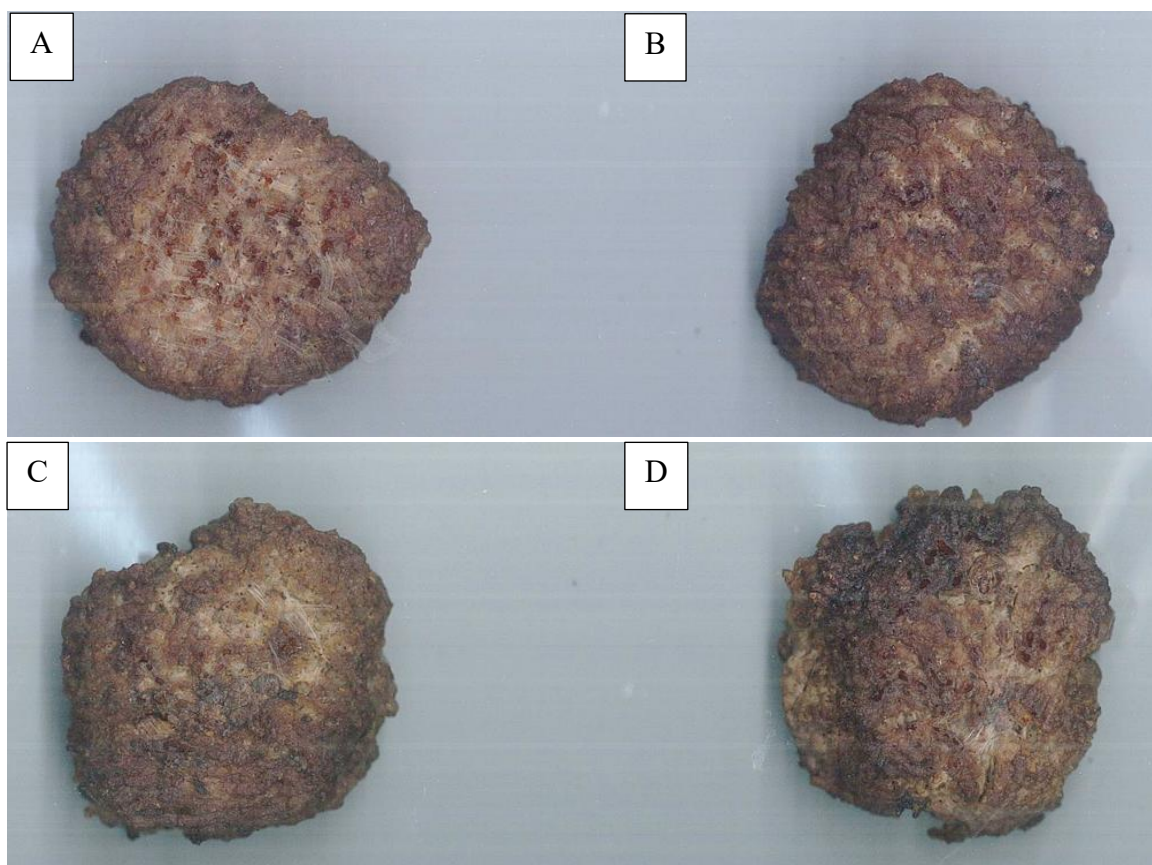
3.7. Parametry barwy kotletów wołowych po smażeniu

W przeprowadzonej analizie barwy w systemie CIELab zaobserwowano w przypadku oleju rafinowanego niższą wartość parametru L* dla kotletów smażonych w wyższej temperaturze. W przypadku kotletów smażonych na oleju rzepakowym tłoczonym różnice nie były zauważalne i istotne. Parametr barwy a* był na zbliżonym poziomie dla wszystkich warantów. Znaczące różnice zaobserwowano dla parametru barwy b*. Wartość tego parametru była średnio wyższa dla kotletów smażonych na CPRO. W celu najlepszego zobrazowania parametrów barwy wyliczono indeks brązowienia. Wykazano, że BI był wyższy dla kotletów smażonych w CPRO. W przypadku wyższej temperatury parametr ten spadł (Tabela 4). Taka sytuacja może być spowodowana przemianą barwy z brązowej na czarną, co jest widoczne na zdjęciach poglądowych wybranych kotletów (Rysunek 6).

Ciemnienie powierzchni smażonych kotletów świadczy o intensywniej zachodzących procesach przemian termicznych, reakcji Maillarda i oksydacji. W ich wyniku powstają korzystne pod względem smakowo-zapachowym związki, jak również inne, które mogą być szkodliwe dla organizmu człowieka.

Tabela 12. Parametry barwy kotletów wołowych po smażeniu

Olej	Temperatura smażenia [°C]	L*	a*	b*	BI
RO	170	34,29 ± 2,07	8,25 ± 1,32	8,38 ± 1,76	47,41 ± 9,94
CPRO	170	32,31 ± 3,31	9,12 ± 2,30	9,14 ± 2,30	55,52 ± 21,38
RO	180	30,01 ± 3,24	8,00 ± 1,07	5,34 ± 1,08	38,66 ± 6,19
CPRO	180	33,25 ± 4,25	8,67 ± 2,47	29,19 ± 2,03	52,47 ± 17,52



Rysunek. 6. Zdjęcie kotletów wołowych po wysmażeniu: a) RO – 170 °C, b) CPRO – 170°C, c) RO – 180 °C, d) CPRO – 180 °C

3.8. Zawartość heterocyklicznych amin aromatycznych w koteletach wołowych po smażeniu

Heterocykliczne aminy aromatyczne (HAA) to pierścieniowe związki organiczne, które zawierają co najmniej jeden atom azotu w pierścieniu aromatycznym. Mają one istotne znaczenie w chemii żywności, ponieważ wiele z nich powstaje podczas gotowania mięsa, ryb lub drobiu w wysokich temperaturach, a niektóre z nich badano jako potencjalne czynniki rakotwórcze. Badania naukowe dowodzą, że wraz ze wzrostem temperatury obróbki cieplnej wzrasta zawartość HAA w smażonym mięsie. Ponadto wykazano korelację między ciemnieniem mięsa podczas obróbki termicznej a powstawaniem tych związków.

Heterocykliczne aminy aromatyczne dzielą się na powstawanie termiczne w umiarkowanych temperaturach do których należą do nich IQ, MeIQ, MeIQx oraz PhIP oraz pirolityczne tworzące się w wyższych temperaturach, nie posiadają one w swojej budowie pierścienie imidolowego i są uznawane za te mniej toksyczne.

W przeprowadzonych badaniach dowiedziono, że temperatura wpłynęła istotnie na wzrost zawartości HAA w kotletach. Ich sumaryczna zawartość była również wyższa w produktach smażonych na oleju rzepakowym tłoczonym (CPRO) (Tabela 13). Jednie w przypadku HAA o najsilniej mutagennych właściwościach (z grupy IQ) zauważono

korzystny wpływ oleju tłoczonego, co może być związane z naturalnie występującymi w nim przeciwutleniaczami.

Tabela 13. Zawartość heterocyklicznych amin aromatycznych w kotletach wołowych po smażeniu

Olej	Temp. smażenia [°C]	Heterocykliczne aminy aromatyczne [ng/g]							
		IQ	MeIQ	MeIQx	Di-MeIQX	Norhman	Harman	PhIP	Suma
RO	170	0,290	0,202	0,047	0,057	0,223	1,319	0,305	2,443
RO	180	0,823	0,294	0,083	0,093	0,372	1,416	0,374	3,455
CPRO	170	0,230	0,129	0,050	0,029	0,956	2,540	0,405	4,339
CPRO	180	0,267	0,193	0,078	0,049	1,359	3,293	0,647	5,886

3.9. Ocena sensoryczna kotletów wołowych

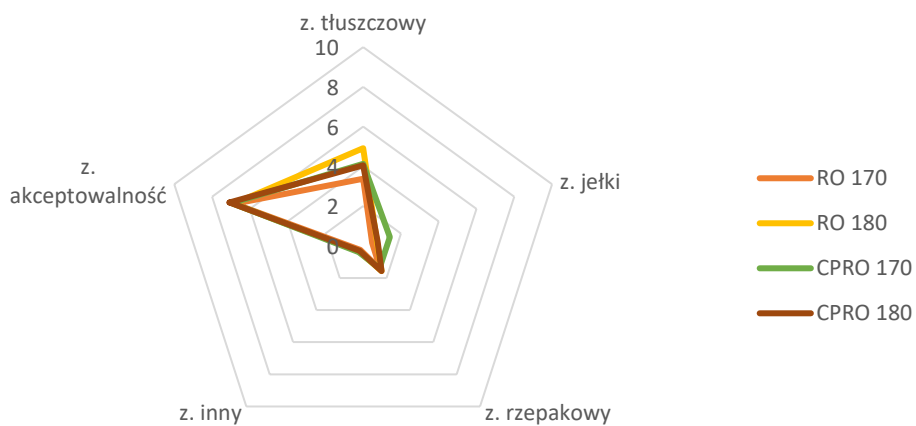
Badania sensoryczne wykazały niewielkie różnice między kotletami smażonymi na oleju rzepakowym rafinowanym oraz tłoczonym.

W pierwszej kolejności oceniany był zapach po delikatnym odchyleniu wieczka. Zapach tłuszczowy był wyczuwalny najbardziej dla kotletów wołowych smażonych w wyższej temperaturze (180 °C), natomiast najmniej w RO smażonych w 170 °C. Zapach jełki był wyczuwalny na niskim poziomie we wszystkich próbkach i średnio był najwyższy dla kotletów smażonych na CPRO. Zapach rzepakowy był wyczuwalny we wszystkich próbkach na zbliżonym i niskim poziomie, wahał się od 1,4 dla CPRO 170°C do 1,6 dla RO i CPRO 180°C. Akceptowalność zapachu była na zbliżonym poziomie dla wszystkich próbek (Rysunek 7).

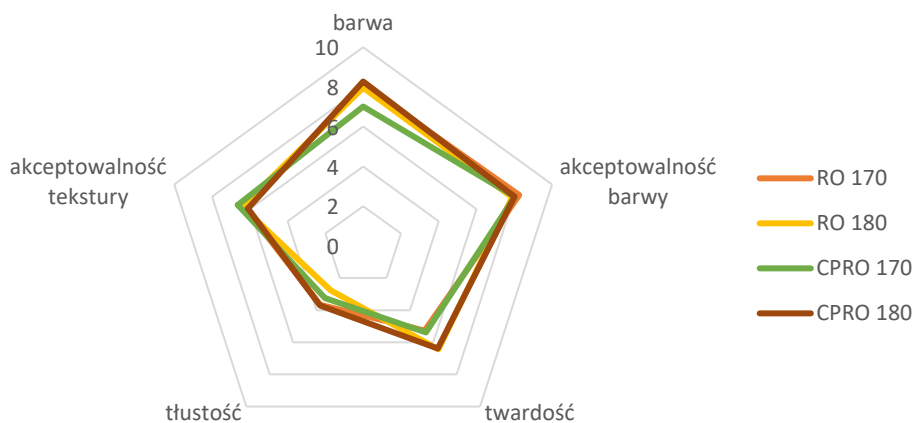
Kotlety charakteryzowały się zbliżoną barwą w ocenie organoleptycznej (Rysunek 8). Właściwości teksturalne były zbliżone dla wszystkich prób, zaobserwowano, jedynie wpływ na wzrost twardości kotletów wraz ze wzrostem temperatury smażenia. Uczucie tłustości w buzi podczas jedzenia kotletów było odczuwalne we wszystkich próbach na tym podobnym poziomie (2,8-3,7). Również nie zaobserwowano wpływu rodzaju oleju ani temperatury smażenia na akceptowalność tekstury (Rysunek 8).

Analiza parametrów smaku była oznaczana pod koniec analizy. Tak samo jak w przypadku innych wyróżników nie zaobserwowano istotnych różnic dla wyróżników smaku kotletów (Rysunek 9).

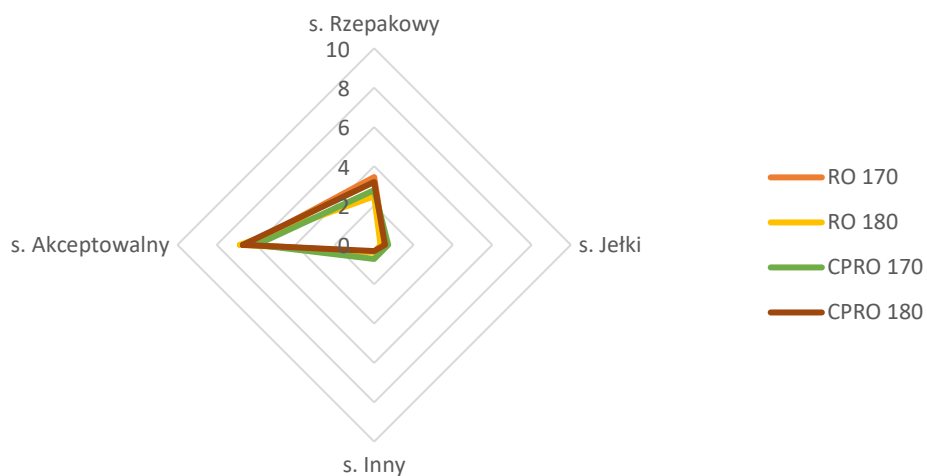
Jakość ogólna była na zbliżonym poziomie we wszystkich wariantach. Można zaobserwować jedynie trend wpływu temperatury smażenia na jej podwyższenie (Rysunek 10).



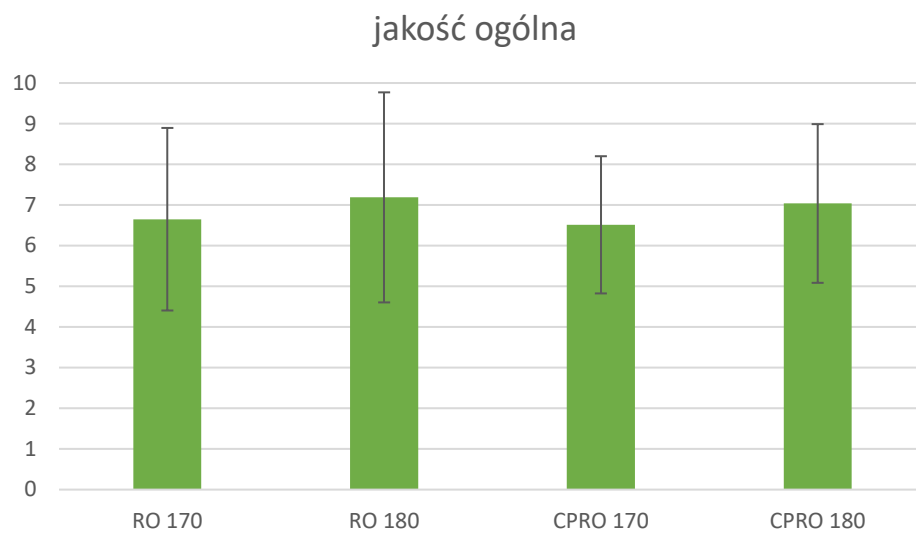
Rysunek 7. Parametry zapachu smażonych kotletów



Rysunek 8. Parametry barwy i tekstury kotletów smażonych



Rysunek 9. Parametry smaku smażonych kotletów



Rysunek 10. Jakość ogólna smażonych kotletów wołowych

4. Podsumowanie

Analiza zmian jakościowych parametrów oleju wykazała, że olej rzepakowy tłoczony na zimno jest mniej stabilny oksydacyjnie podczas płytkiego smażenia na patelni placków ziemniaczanych oraz kotletów wołowych zarówno w temperaturze 170, jak i 180 °C. W składzie kwasów tłuszczowych i steroli zaobserwowano różnice, które były większe wraz z wyższą temperaturą. W przypadku kotletów wołowych wyciekający tłuszcz wpływał na zmiany w składzie kwasów tłuszczowych oraz przyczyniał się do wzrostu cholesterolu i izomerów trans KT w oleju smaźalniczym. Wraz ze wzrostem temperatury ilość tłuszczu wołowego wzrastała.

Na barwę placków ziemniaczanych wpłynęły zarówno temperatura smażenia, jak również rodzaj oleju. Zastosowanie wyższej temperatury smażenia oraz oleju tłoczonego przyczyniło się do zwiększenia barwy brązowej wskazującej na bardziej intensywny proces reakcji Maillarda. Potwierdziły to wyniki zawartości akrylamidu. Jednak w przypadku produktów smażonych w 180°C nie zauważono związku między zawartością akrylamidu a indeksem brązowienia. Z analizy wynika, że produkt smażony na oleju tłoczonym ma bardziej brązową barwę i niższą zawartość akrylamidu niż placków smażonych na oleju rafinowanym. W przypadku kotletów wołowych różnice w barwie były widoczne głównie ze względu na zastosowany olej rzepakowy. Zaobserwowano, że kotlety smażone na oleju tłoczonym miały wyższy indeks brązowienia świadczący o większej ilości produktów reakcji Maillarda, degradacji i oksydacji. Badania zawartości heterocyklicznych amin aromatycznych potwierdziły, że produkty smażone w wyższej temperaturze oraz na oleju rzepakowym tłoczonym na zimno miały wyższą zawartość tych substancji.

Produkty reakcji Maillarda wpływają korzystnie na właściwości sensoryczne produktów poprzez nadanie produktom pożądaných cech smaku i aromatu. Pod względem akceptowalności i jakości ogólnej placków smażenie w wyższej temperaturze (180 °C) oraz stosowanie oleju tłoczonego działają korzystnie sensorycznie. Jednak stosowanie takiej temperatury przyczynia się do zwiększenia zanieczyszczenia placków ziemniaczanych akrylamidem do poziomu powyżej granicznego ustalonego dla produktów z masy ziemniaczanej w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej. Dlatego ze względów bezpieczeństwa wskazane jest smażenie placków w niższej temperaturze (170 °C).

Pod względem sensorycznym kotlety wołowe nie różniły się istotnie, czyli nie zaobserwowano wpływu temperatury i rodzaju oleju. Dlatego ze względów bezpieczeństwa zaleca się smażenie takich produktów w niższej temperaturze oraz na oleju rzepakowym rafinowanym a nie tłoczonym, aby zmniejszyć przyjmowanie wraz z dietą takich substancji jak heterocykliczne aminy aromatyczne będące substancjami o właściwościach motagennych.

Wskazówki przygotowania potraw ziemniaczanych smażonych na patelni:

- W celu zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego zaleca się smażenie produktów w niższej temperaturze (< 170 °C). Stosowanie wyższej temperatury 180 °C sprzyja procesom oksydacji i degradacji tłuszczu, w tym powstawaniu toksycznych oksysteroli.

- Olej rzepakowy tłoczony na zimno ma większą podatność na utlenianie w stosunku do oleju rafinowanego. W związku z tym w smażeniu w wysokiej temperaturze polecany jest olej rafinowany.

- Produkty ziemniaczane są podatne na powstawanie akrylamidu w wysokich temperaturach. Badania nie wykazały, że produkty smażone w niższej temperaturze (170 °C) i na oleju rzepakowym rafinowanym miały najniższy poziom tej substancji.

- Badania sensoryczne placków ziemniaczanych wykazały, że wszystkie produkty smażone na oleju rzepakowym tłoczonym mają lepsze właściwości sensoryczne, jednak biorąc pod uwagę względy bezpieczeństwa żywnościowego należy pamiętać o zagrożeniach wynikających ze stosowania wysokich temperatur takiego sposobu przygotowywania żywności.

Wskazówki przygotowania kotletów wołowych smażonych na patelni:

- W celu zwiększenia bezpieczeństwa żywnościowego zaleca się smażenie produktów w niższej temperaturze (< 170 °C). Stosowanie wyższej temperatury 180 °C sprzyja procesom oksydacji i degradacji tłuszczu, w tym powstawaniu toksycznych oksysteroli.

- Olej rzepakowy tłoczony na zimno ma większą podatność na utlenianie w stosunku do oleju rafinowanego w takich samych warunkach smażenia. W związku z tym w smażeniu w wysokiej temperaturze polecany jest olej rafinowany.

- Produkty mięsne są podatne na powstawanie heterocyklicznych amin aromatycznych – związków o właściwościach mutagennych - w wysokich temperaturach. Badania nie wykazały, że produkty smażone w niższej temperaturze (170 °C) i na oleju rzepakowym rafinowanym miały najniższy poziom tych substancji.

- Badania sensoryczne kotletów wołowych nie wykazały różnic między produktami smażonymi na oleju rzepakowym tłoczonym i rafinowanym. Biorąc pod uwagę względy bezpieczeństwa żywnościowego, należy unikać stosowania wysokich temperatur smażenia.

5. Literatura

1. EFSA Journal, 2010; 8(3), 1461.
2. Woźniak, E.; Waszkowska, E.; Zimny, T.; Sowa, S.; Twardowski, T. The Rapeseed Potential in Poland and Germany in the Context of Production, Legislation, and Intellectual Property Rights. *Front. Plant Sci.* 2019, 10, 1423.
3. Rudzińska M., Korczak J., Wąsowicz E., 2005. Changes in phytosterols and their oxidation products during frying of French fries in rapeseed oil. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.* 55 (4), 381-387.
4. Kmiecik D., Fedko M., Rudzińska M., Siger A., Gramza-Michałowska A., Kobus-Cisowska J., 2021. Thermo-Oxidation of Phytosterol Molecules in Rapeseed Oil during Heating: The Impact of Unsaturation Level of the Oil. *Foods.* 10, 50.
5. Onacik-Gur S., Ptasznik S., Zbikowska A., Marciniak-Lukasiak K., 2024. Acrylamide Contamination, Shelf-Life and Sensory Properties of Puffed Potato Starch Chips Deep-Fried in Rapeseed Oil-Based Oleogels. *Applied Sciences.* 14 (24), 11512.
6. Roszko M.Ł., Szczepańska M., Szymczyk K., Rzepkowska M. Dietary risk evaluation of acrylamide intake with bread in Poland, determined by two comparable cleanup procedures. *Food Addit. Contam. B.* 2020, 13 (1), 1-9.
7. Rudzińska M., Korczak J., Wąsowicz E. Changes in phytosterols and their oxidation products during frying of French fries in rapeseed oil. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2005, 14 (55), 381-387.
8. Rybarska K., Przygoński K. Wpływ rutyny na tworzenie heterocyklicznych amin aromatycznych w reakcjach Maillarda. W: *Żywność jako wyzwanie dla współczesnej nauki i przemysłu*. Pod redakcją: Bernaś E., Gałkowska D., Topolska K. 2023.

