

WIKTOR BERSKI, WIM DE GREYT

WPLYW RAFINACJI FIZYKALNEJ NA SKŁAD OLEJU KUKURYDZIANEGO

Streszczenie

Przeprowadzono serię 7 eksperymentów fizykalnej rafinacji oleju kukurydzianego w instalacji pilotowej. Eksperymenty różniły się między sobą zastosowaną temperaturą, ciśnieniem, ilością dodanej pary wodnej, a także czasem trwania. Zaobserwowano, że wyższa temperatura i większa ilość dodanej pary wodnej powodowały obniżenie tokoferolu w oleju rafinowanym. Przedłużanie czasu rafinacji w wyższej temperaturze powodowało wzrost zawartości izomerów trans kwasów tłuszczowych. Najwyższą zawartość składników frakcji polarnej zaobserwowano w próbce rafinowanej w najwyższej temperaturze.

Wprowadzenie

Głównym celem oczyszczania olejów i tłuszczów jest usuwanie niepożądanych substancji, które mogą mieć zły wpływ na ich stabilność i smak. Innym celem jest osiągnięcie maksymalnej wydajności i zatrzymanie tych składników, które mogą być pomocne. Najbardziej popularną metodą przemysłowej rafinacji tłuszczów i olejów jest obróbka ich przy użyciu roztworu ługu. Rafinacja klasyczna powoduje niemal całkowite usunięcie wolnych kwasów tłuszczowych i innych niepożądanych składników [10]. Inną metodą oczyszczania jest rafinacja fizykalna polegająca na destylacji olejów z parą wodną w próżni, kiedy to wolne kwasy tłuszczowe czy inne niepożądane substancje są usuwane [6, 11]. Klasyczna rafinacja jest bardzo efektywną metodą, jeżeli chodzi o usuwanie niepożądanych składników, lecz jej wadami są straty oleju, a także tokoferolu.

W trakcie rafinacji fizykalnej olej podlega działaniu licznych czynników: czasu trwania procesu, temperatury procesu, ciśnienia, ilości pary wodnej czy początkowej ilości wolnych kwasów tłuszczowych. Skład końcowego produktu jest więc uzależnio-

ny od tych czynników, jak również ich kombinacji. Dlatego też należy pogodzić dwa główne cele – usunięcie niepożądanych substancji oraz pozostawienie takich składników jak tokoferol. Prowadzono badania mające ustalić takie warunki [8, 9]. Należy też wspomnieć o zmianach jakie zachodzą w oleju w trakcie rafinacji. Przetwarzanie oleju w tak wysokiej temperaturze może doprowadzić do powstania izomerów trans kwasów tłuszczowych [7]. Z uwagi na szkodliwość dla zdrowia tych kwasów [5], warunki w jakich dokonuje się rafinacji powinny zminimalizować ryzyko ich powstania. Z drugiej strony obniżenie parametrów procesu może spowodować, że olej będzie niecałkowicie oczyszczony.

Celem podjętych badań było znalezienie optymalnych parametrów, by móc otrzymać olej jadalny charakteryzujący się wysoką stabilnością. Szczególną uwagę poświęcono poziomowi wolnych kwasów tłuszczowych i tokoferolu.

Material i metody badań

Użyto nie zneutralizowanego oleju kukurydzianego, otrzymanego z lokalnej rafinerii (Gandawa, Belgia). Próbkę oleju były fizykalnie rafinowane, przy zastosowaniu różnorodnych parametrów (czas, temperatura, ciśnienie i ilość dodanej pary wodnej). Warunki w jakich przeprowadzono rafinację były oparte na wstępnych 28 testach wykonanych na oleju sojowym. Następnie z nich wybrano 7.

Próby były przeprowadzane na Wydziale Nauk Żywnościowych Uniwersytetu w Gandawie. Deodoryzer składał się z następujących części: naczynia do deodoryzacji, dwóch kondensatorów służących do kondensacji lotnych składników i pary wodnej.

Tabela 1

Przegląd warunków w jakich wykonywano eksperymenty.
Overview of the experiments.

Eksp. Exp.	Czas Time (min.)	Temp. (°C)	Ciśnienie Pressure (mbar)	Ilość pary Steam (%)	Przybliżony czas potrzebny do osiągnięcia założonych parametrów Approximately time needed to obtain working parameters (min.)
1	90	245	2	3	95
2	150	215	2	3	55
3	120	230	3	2	75
4	120	260	3	2	110
5	60	230	3	2	75
6	150	245	4	1	80
7	90	245	2	1	95

W próbkach określano poziom: wolnych kwasów tłuszczowych (FFA) [1], tokoferoli [4], trans izomerów kwasów tłuszczowych [2], spolimeryzowanych triglicerydów [3]. Wszystkie analizy zostały wykonane wg metod AOCS. Analizy: wolnych kwasów tłuszczowych, tokoferolu, spolimeryzowanych triglicerydów wykonano w dwóch powtórzeniach. Analizę izomerów trans kwasów tłuszczowych wykonano w jednym powtórzeniu.

Analizę matematyczną wyników (proces dopasowywania) wykonano programem Gnuplot.

Do każdego eksperymentu używano 10 kg oleju. Parametry w jakich wykonywano eksperymenty zostały podane w tabeli 1. Za czas 0 (kolumna 2) przyjęto moment, gdy została osiągnięta temperatura robocza. W trakcie każdego eksperymentu pobierano w równych odstępach czasu cztery próbki (dla $T = 0$ (A), $T = 1/3$ (B), $T = 2/3$ (C) oraz na końcu procesu).

Wyniki i dyskusja

Początkowa zawartość ($T = 0$) wolnych kwasów tłuszczowych (FFA) w siedmiu próbkach wahała się od 99,5% (próbka 2) do 90,9 (próbka 7), w porównaniu z olejem surowym (tab. 2). Może to znaczyć, że okres „suchego ogrzewania”, tj. czasu potrzebnego do ogrzania oleju do zakładanej temperatury ma niewielkie znaczenie. Najbardziej efektywną próbą był pierwszy eksperyment, ostateczna zawartość wolnych kwasów wynosiła 4% ich początkowej ilości. Najmniej efektywny był eksperyment nr 6, gdzie po zakończeniu pozostało jeszcze 18% początkowej zawartości kwasów. Dla wszystkich prób, pierwszy okres był najbardziej efektywny, usuwając największą ilość wolnych kwasów tłuszczowych. Eksperymenty przeprowadzone przez Jawad'a i wsp. [8] na oleju sojowym wykazały, że rafinacja fizykalna w zakresie temperatur 240–260°C przez 2 godziny była wystarczająca by obniżyć poziom wolnych kwasów tłuszczowych poniżej 0,1%, który jest uważany za akceptowalny. Kiedy temperatura przekraczała 260°C, zwłaszcza gdy była stosowana przez dłuższy czas, następował wzrost zawartości wolnych kwasów tłuszczowych. Tłumaczono to zjawisko hydrolizą triglicerydów. Rafinacja w temperaturze 300°C, nawet przez okres 0,5 godziny, prowadziła do wzrostu zawartości wolnych kwasów tłuszczowych. Z drugiej strony rafinacja w 240°C przez okres 0,5 godziny była niewystarczająca by obniżyć zawartość wolnych kwasów tłuszczowych do pożądanego poziomu.

Analiza matematyczna danych z tabeli 2. dała następujące równanie krzywej, które najlepiej odzwierciedla dane eksperymentalne:

$$F(x) = a \cdot \exp(-b \cdot x)$$

gdzie x to czas rafinacji (min.)

Współczynniki a i b zostały podane w tab. 3.

Wpływ dodanej w trakcie procesu ilości pary przedstawiono na rys. 1. Im więcej pary dodano, tym więcej wolnych kwasów tłuszczowych zostało usuniętych.

Tabela 2

Zawartość wolnych kwasów tłuszczowych (FFA) w fizykalnie rafinowanym oleju kukurydzianym (w % kwasu oleinowego).

Free fatty acid (FFA) content in physically refined corn oil (as the percentage of oleic acid).

Eksp. Exp.	A	B	C	D
Olej surowy* Crude oil*	1,010	–	–	–
1	1,001	0,120	0,046	0,039
2	1,005	0,356	0,207	0,121
3	0,996	0,372	0,132	0,089
4	0,998	0,124	0,095	0,082
5	0,944	0,273	0,119	0,068
6	0,956	0,412	0,222	0,166
7	0,918	0,285	0,121	0,055

* olej pobrany z pojemnika, przed rafinacją

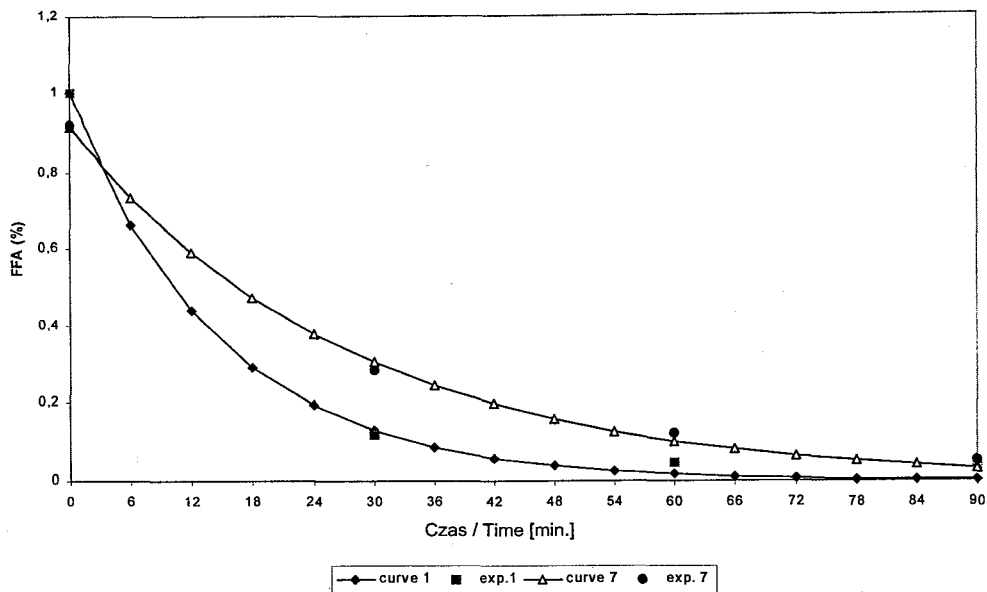
* crude oil taken from container

Tabela 3

Współczynniki krzywych dopasowania zmian poziomu wolnych kwasów tłuszczowych w trakcie rafinacji fizykalnej.

Coefficients for the fitting curve for the FFA removal during physical refining process.

Eksp. / Exp.	Współczynnik / Coefficient	
	a	b
1	1,000	0,068
2	0,992	0,018
3	0,994	0,242
4	0,996	0,047
5	0,939	0,057
6	0,942	0,015
7	0,914	0,037



Rys. 1. Wyniki oznaczenia i krzywe dopasowania – usuwanie wolnych kwasów tłuszczowych – eksperymenty 1 i 7.

Fig. 1. Experimental points and fitting curves for FFA removal – trial 1 and 7.

Początkowa zawartość tokoferolu różniła się tylko o 2–10% (tab. 4), w porównaniu z olejem surowym, co oznacza, że „suche” ogrzewanie oleju nie ma większego wpływu na zawartość tokoferolu. Największa różnica pojawiła się podczas eksperymentu nr 4, co może być wytłumaczone najdłuższym czasem potrzebnym do ogrzania oleju do zakładanej temperatury. Także w końcowej próbce z tego eksperymentu ilość pozostałego tokoferolu była najniższa – 26,7%, następna w kolei była próbka z eksperymentu nr 1 – 38,2%. Najwyższa zawartość tokoferolu była w próbce 2. – 91,1%, próbki z eksperymentów 3., 5. i 6. miały podobną zawartość tokoferolu. Dokonując porównania pomiędzy eksperymentami 1. i 7., jest oczywiste, że poziom tokoferolu jest silnie uzależniony od ilości dodanej pary, większa ilość dodanej pary powoduje zmniejszenie ilości tokoferolu. Czas rafinacji nie odgrywał większej roli (próby 3 i 5). Próby 3. i 4. wskazują, że temperatura była istotnym czynnikiem oddziałującym na poziom tokoferolu. Ten sam wniosek może być wyciągnięty z porównania prób 1. i 2. Próby 6. i 7. wskazują na efekt stosowanego ciśnienia – wyższe ciśnienie powoduje, że więcej tokoferoli pozostaje w oleju.

Wyniki eksperymentu przeprowadzonego przez Maza i wsp. [9] na oleju kukurydzianym w laboratoryjnym deodoryzerze (zmiennymi warunkami były temperatura i ilość dodanej pary wodnej, podczas gdy czas i ciśnienie było stałe) wykazały, że optymalne warunki występowały w zakresie 232–238°C i 1,35–1,45%/h dodanej pary.

Ustalony przez nich poziom jakości to zawartość wolnych kwasów tłuszczowych na poziomie 0,2% i pozostałość co najmniej 50% tokoferolu. Biorąc pod uwagę te wskaźniki, żaden z olejów rafinowanych przez autorów nie spełniał wymagań odnośnie zawartości kwasów tłuszczowych, natomiast poziom tokoferolu był zadowalający w większości przypadków. Eksperyment przeprowadzono w instalacji pilotażowej [9], gdzie poza temperaturą i ilością pary wodnej, także początkowy poziom wolnych kwasów tłuszczowych był wartością zmienną, optymalne warunki dla rafinacji trwającej 150 min. to 227–238°C i ilość pary 3,0–2,5%/h.

Tabela 4

Zawartość tokoferolu w fizykalnie rafinowanym oleju kukurydzianym (w ppm).
Tocopherol composition in physically refined corn oil (in ppm).

Próba Sample	Tokoferol / Tocopherol			
	α	β/γ	Całkowity Total	Pozostało Remained %
Olej surowy* Crude oil*	289	1147	1436	
1A	270	1134	1405	38,2
1D	127	408	536	
2A	271	1120	1391	91,1
2D	251	1016	1268	
3A	245	1127	1372	78,5
3D	215	862	1078	
4A	245	1045	1291	26,7
4D	72	272	344	
5A	247	1135	1382	77,6
5D	206	866	1072	
6A	253	1100	1353	76,8
6D	190	849	1040	
7A	243	1081	1325	66,3
7D	184	693	878	

* Olej pobrany z pojemnika, przed rafinacją.

* Crude oil taken from container.

Jak oczekiwano, zawartość trans izomerów kwasów tłuszczowych, która wzrasta w trakcie rafinacji fizykalnej, zależy od zastosowanej temperatury i ciśnienia (tab. 5). Ilość izomerów trans wzrasta w trakcie procesu. Najwyższy ich poziom był w próbce nr 4, pochodzącej z eksperymentu, w którym olej był podgrzewany do najwyższej temperatury. Ilość izomerów trans maleje w kolejności, w jakiej maleje temperatura rafinacji: 6, 1, 7, 3, 5 i najniższą wartość zaobserwowano w próbce nr 2. Niewielka rozbieżność, która pojawiła się między próbkami 1 i 7, a które były wykonywane w

takich samym warunkach, za wyjątkiem ilości dodanej pary (większa ilość podczas eksperymentu 1.), wydaje się być sprzeczna ze stwierdzeniem Denecke'go [7]. We wszystkich próbach, największy udział w całkowitej ilości izomerów trans w fizykalnie rafinowanym oleju kukurydzianym (próbki D) miał c, t 18:2 – ponad 40%, następny był t, c 18:2 – ponad 30%, za wyjątkiem próbki z eksperymentu 3., gdzie zawartość t, c 18:2 była nieco wyższa niż c, t 18:2. Także w próbce 3B, w największej ilości występował t, c, c 18:3, w próbce 3C ogólny skład był taki sam jak w 3D. Obecność t, c, t 18:3 wykryto w próbkach 4. i 6., lecz jego zawartość malała w trakcie eksperymentu 4. Za wyjątkiem próbki z eksperymentu 3. zawartość t, c, c 18:3 była nieco wyższa niż c, c, t 18:3.

Tabela 5

Zawartość i skład trans izomerów kwasów tłuszczowych w fizykalnie rafinowanym oleju kukurydzianym, (% kwasów tłuszczowych).

Composition and content of trans fatty acids in the physically refined corn oil (% of fatty acids).

Próbka Sample	t,t 18:2	c,t 18:2	t,c 18:2	t,c,c 18:3	c,c,t 18:3	t,c,t 18:3	Ogółem Total
1D	0,00	0,60	0,56	0,12	0,12	0,00	1,40
2D	0,00	0,15	0,11	0,03	0,03	0,00	0,32
3B	0,00	0,19	0,18	0,24	0,00	0,00	0,61
3C	0,00	0,21	0,22	0,06	0,11	0,00	0,60
3D	0,00	0,25	0,26	0,09	0,09	0,00	0,69
4B	0,00	0,74	0,67	0,12	0,10	0,05	1,68
4C	0,00	1,17	1,13	0,17	0,17	0,05	2,69
4D	0,00	1,78	1,62	0,20	0,18	0,04	3,82
5D	0,00	0,24	0,18	0,06	0,04	0,00	0,52
6B	0,00	0,37	0,34	0,08	0,08	0,00	0,87
6C	0,00	0,60	0,56	0,12	0,09	0,00	1,37
6D	0,00	0,82	0,78	0,15	0,15	0,04	1,94
7D	0,00	0,56	0,52	0,11	0,08	0,00	1,27

Przeprowadzona analiza matematyczna danych z tab. 5. – eksperyment 3. i 6. (rys. 2) dała następujące równania krzywych, opisujące powstawanie izomerów trans w trakcie rafinacji fizykalnej:

$$F(x) = (a \cdot x) / (1 + b \cdot x)$$

gdzie x to czas rafinacji (min.)

Współczynniki a i b zostały podane w tab. 6.

Dane izomerów t, c, c 18:3 i c, c, t 18:3 powstałych w trakcie próby nr 3 nie odpowiadają modelowi wspomnianego wcześniej równania opisującego.

Tabela 6

Współczynniki krzywych dopasowania opisujących powstawanie izomerów trans kwasów tłuszczowych w trakcie rafinacji fizycznej - próby 3. i 6.

Coefficients for the fitting curves for the trans fatty acids creation during physical refining process - trials 3 and 6.

Eksp. / Exp.	Izomer trans / Trans izomer	a	b
3	C,t 18:2	0,013	0,047
	T,c 18:2	0,010	0,029
6	C,t 18:2	0,008	0,003
	T,c 18:2	0,008	0,003
	T,c,c 18:3	0,002	0,008
	C,c,t 18:3	0,002	0,005

Tabela 7

Skład frakcji polarnej w fizycznie rafinowanym oleju kukurydzianym, (% tłuszczu).

Polar fraction composition in physically refined corn oil, as a percentage of fat.

Próbka Sample	Fracja polarna / Polar fraction				
	Całkowita Total	Dimery Dimers	Oxi	DGL	MGL+FFA
Olej surowy* Crude oil*	5,701	0,115	1,756	2,106	1,725
1D	6,424	0,623	2,474	2,549	0,777
2D	5,289	0,284	1,769	2,274	0,962
3D	5,227	0,331	1,566	2,470	0,861
4D	6,325	0,553	2,266	2,936	0,570
5D	5,308	0,569	1,866	2,133	0,741
6D	5,827	0,834	1,896	2,473	0,623
7D	6,012	0,432	2,248	2,635	0,697

* Olej pobrany z pojemnika przed rafinacją

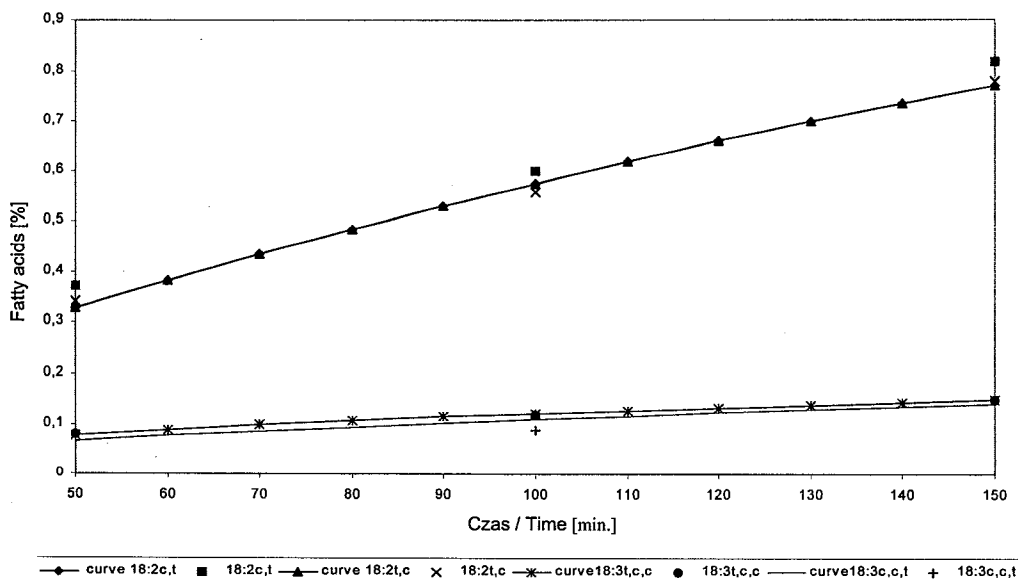
* Crude oil taken from container

Oxi - utlenione trójglicerydy, DGL - diglicerydy, MGL+FFA - monoglicerydy i wolne kwasy tłuszczowe.

Oxi - oxidized triglycerides, DGL - diglycerides, MGL+FFA - monoglycerides and free fatty acids.

Rafinacja fizyczna spowodowała wzrost zawartości frakcji polarnej od 5,7% tłuszczu do 6,4% w trakcie eksperymentu nr 1, i do 6,3% w próbce nr 4 (tab. 7). Procentowy skład frakcji polarnej uległ zmianie w porównaniu z olejem surowym. Zawartość monoglicerydów i wolnych kwasów tłuszczowych zmalała, natomiast zawartość innych składników wzrosła. W surowym oleju, w największej ilości występowały diglicerydy, monoglicerydy i wolne kwasy tłuszczowe; dimery miały niewielki udział

w ogólnej kompozycji frakcji polarnej. We wszystkich próbkach, za wyjątkiem próbki nr 6, udział dimerów był najmniejszy. W próbce nr 6 poziom dimerów był najwyższy. Ten eksperyment był wykonywany pod najwyższym ciśnieniem i trwał najdłużej, a także dodano najmniejszą ilość pary. Najwyższy poziom utlenionych triglicerydów był w próbce 1. – 2,5 % i 7. – 2,3%.



Rys. 2. Krzywe dopasowujące i punkty eksperymentalne – powstawanie izomerów trans kwasów tłuszczowych w trakcie rafinacji fizykalnej – eksperyment nr 6.

Fig. 2. Trans fatty acids formation during physical refining, fitting curves and experimental points – experiment no. 6.

Próbka nr 7 zawierała najwięcej diglicerydów, monoglicerydów i wolnych kwasów tłuszczowych. Porównanie eksperymentów 1. i 7. pokazuje, że większa ilość dodanej pary powoduje wzrost zawartości frakcji polarnej. Z kolei wyższa temperatura prowadzi do podobnych wyników (próby 3. i 4.). Jednakże zawartość frakcji polarnej w próbce 3. była nieco niższa niż w próbce nr 5, pomimo dłuższego ogrzewania. Zawartość zarówno dimerów jak i utlenionych triglicerydów był wyższy w próbce 5., podczas gdy w próbce 3. więcej było produktów hydrolizy (diglicerydów i wolnych kwasów tłuszczowych). Próba 4. wykonana w najwyższej temperaturze zawierała najwięcej produktów hydrolizy.

Warunki panujące podczas eksperymentu 2. zdaniem autorów są najbardziej optymalne i pozwalają na otrzymanie stabilnego oleju jadalnego, z uwagi na niemal niezmienny poziom tokoferolu oraz najniższy poziom izomerów trans kwasów tłuszczowych.

czowych. Poziom wolnych kwasów tłuszczowych był dość wysoki, w porównaniu z innymi próbkami, jednak wciąż akceptowalny. Inne niepożądane substancje, składniki frakcji polarnej, znajdowały się na bardzo niskim poziomie.

Wnioski

1. Zawartość tokoferoli w oleju kukurydzianym była silnie uzależniona od ilości dodanej pary i zastosowanego ciśnienia. Większa ilość dodanej pary i wyższa temperatura powodowały obniżenie poziomu tokoferoli w rafinowanym oleju. Wyższe ciśnienie sprzyjało pozostawaniu tokoferoli w oleju.
2. Tworzenie się izomerów trans kwasów tłuszczowych zależało od zastosowanej temperatury i czasu rafinacji. W rafinowanym oleju najwięcej było C18: 2c, t.
3. Najwyższy poziom składników frakcji polarnej zaobserwowano w próbce, która była rafinowana w najwyższej temperaturze.
4. Optymalne parametry rafinacji fizycznej uzyskano w trakcie eksperymentu 2. Olej pochodzący z tego eksperymentu charakteryzował się niemal niezmiennym poziomem tokoferolu oraz najniższym poziomem izomerów trans kwasów tłuszczowych.

LITERATURA

- [1] AOCS Official Method Ca 5a-40 Free Fatty Acids.
- [2] AOCS Official Method Cd 14c-94 Trans-Fatty Acids.
- [3] AOCS Official Method Cd 22-91 Polymerized Triglycerides.
- [4] AOCS Official Method Ce 8-9 Tocopherol.
- [5] Bartnikowska E., Obiedziński M.W.: Unsaturated trans fatty acids - a nutritional problem? a review, *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 1997, 6/47, 3, 3.
- [6] Cvengroš J.: Physical Refining of Edible Oils, *JAOCS*, 72, 1995, 1193.
- [7] Denecke, P.: About Formation of Trans Fatty Acids during Deodorization of Rapeseed Oil, *European Journal of Medical Research*, 1, 1995, 109.
- [8] Javad M., Kochnar S.P., Hudson B.J.F.: Quality characteristics of physically refined soybean oil: effects of pre-treatment and processing time and temperature, *J. Food Technology*, 18, 1983, 353.
- [9] Maza A., Ormsbee R.A., Strecker L.R.: Effects of deodorization and steam-refining parameters on finished oil quality, *JAOCS*, 69, 1992, 1003.
- [10] Niewiadomski H.: *Technologia tłuszczów jadalnych*, WNT, Warszawa 1993.
- [11] Tandy D.C., McPherson W.J.: Physical Refining of Edible Oil, *JAOCS*, 61, 1984, 1253.

EFFECT OF PHYSICAL REFINING ON THE COMPOSITION OF CORN OIL**S u m m a r y**

The series of 7 experiments of the physical refining of the corn oil has been conducted in the pilot scale installation. The influence of such parameters like: time, temperature, pressure and amount of steam on final product composition has been studied. It was observed, that tocopherols content was influenced by amount of applied steam and temperature. Sample refined at the highest temperature contained the greatest amount of polar compounds. The temperature and time of refining had impact on the amount of created trans fatty acids. ☒

**VI Sesja Sekcji Młodej Kadry Naukowej
Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności****JAKOŚĆ I PROZDROWOTNE CECHY ŻYWNOSCI**

Łódź, 29–30 maja 2001 r.

Program naukowy

Tematyka VI Sesji SMKN PTTŻ obejmuje wszelkie aspekty związane z jakością żywności ze szczególnym podkreśleniem jej cech prozdrowotnych. Problematyka prac może dotyczyć wytwarzania i przetwarzania żywności, jak również szeroko pojętej analityki oraz pokrewnych zagadnień związanych z jakością żywności i jej wpływem na zdrowie.

W ramach sesji będą prezentowane doniesienia w formie komunikatów (15 min.) oraz posterów. Wzorem lat ubiegłych jedynymi lub pierwszymi autorami doniesień winni być młodzi pracownicy nauki.

W programie sesji przewidziane jest forum o tematyce dotyczącej prozdrowotnych cech żywności oraz warsztaty poświęcone programowaniu i modelowaniu eksperymentu naukowego.

Informacje

VI Sesja SMKN odbędzie się w Ośrodku Wypoczynkowo-Hotelowym „Prząśniczka” w Łodzi przy ul. Studenckiej 20/24 usytuowanym w Lesie Łągiewnickim.

Adres do korespondencji

Komitet Organizacyjny VI Sesji SMKN PTTŻ

Politechnika Łódzka, Instytut Chemicznej Technologii Żywności

Ul. Stefanowskiego 4/10, 90-924 Łódź

Tel./fax: (042) 636-74-88

Dr inż. Krzysztof Kołodziejczyk – e-mail: kkolodz@snack.p.lodz.pl

Mgr inż. Maciej Wojtczak – e-mail: wojtczak@snack.p.lodz.pl

<http://snack.p.lodz.pl/smpttz>