

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ŽIVILSTVO

Klavdija ZALOKAR

**POVEZAVA MED KLASIČNIMI METODAMI DOLOČITVE
STOPNJE OKSIDACIJE RASTLINSKIH OLJ IN NJIHOVIMI
DIELEKTRIČNIMI LASTNOSTMI**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**CORRELATION BETWEEN CLASSICAL DETERMINATION
METHODS OF OXIDATION DEGREE IN VEGETABLE OIL AND ITS
DIELECTRIC PROPERTIES**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2012

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija živilske tehnologije. Opravljeno je bilo v laboratoriju Katedre za biokemijo in kemijo živil, Oddelka za živilstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Za mentorico diplomskega dela je imenovana prof. dr. Helena Abramovič, za somentorico doc. dr. Nataša Šegatin in za recenzenta prof. dr. Rajko Vidrih.

Mentorica: prof. dr. Helena Abramovič

Somentorica: doc. dr. Nataša Šegatin

Recenzent: prof. dr. Rajko Vidrih

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Klavdija Zalokar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
DK UDK 664.34:543.2/.9:537.226(043)=163.6
KG olje/jedilna olja/sončnično olje/avtooksidacija olj/dielektrične lastnosti/maščobna števila/peroksidno število/*p*-anizidinska vrednost/konjugirani dieni/konjugirani trieni/celokupne polarne snovi/TPM vrednost
AV ZALOKAR, Klavdija
SA ABRAMOVIČ, Helena (mentorica)/ ŠEGETIN, Nataša (somentorica)/ VIDRIH Rajko (recenzent)
KZ SI- 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo
LI 2012
IN POVEZAVA MED KLASIČNIMI METODAMI DOLOČITVE STOPNJE OKSIDACIJE RASTLINSKIH OLJ IN NJIHOVIMI DIELEKTRIČNIMI LASTNOSTMI
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP XIII, 60 str., 18 pregl., 17 pril., 35 sl., 35 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Namen diplomskega dela je dokazati, da sta dielektrična konstanta (ϵ') in faktor dielektričnih izgub (ϵ'') primerna alternativa klasičnim metodam določevanja napredovanja oksidacije olj. Tipični in oleinski tip sončničnega olja smo inkubirali v temi pri 70 °C in periodično odvzetim vzorcem določili stopnjo oksidacije. Stopnjo oksidacije smo spremljali s spektrofotometrično določitvijo *p*-anizidinske vrednosti in konjugiranih dienov ter trienov. Titrimetrično pa smo določali peroksidno število in z instrumentom Testo 270 vsebnost polarnih snovi (TPM). Dielektrične lastnosti smo merili z LCR metrom pri frekvencah 100 Hz do 2 MHz in v temperaturnem območju 20 do 50 °C. Ugotovili smo vpliv maščobno kislinske sestave olj na ϵ' in ϵ'' , ki sta od začetka do konca inkubacije višja pri tipičnem sončničnem olju. Tudi primarni in sekundarni oksidacijski produkti, ter TPM vrednost dosežejo višje vrednosti pri tipičnem sončničnem olju. Dielektrična konstanta obeh vzorcev kaže podobno temperaturno in frekvenčno odvisnost, plato je dosežen med frekvencama 1000 Hz in 1 MHz, z najvišjimi vrednostmi pri 20 °C, ki pa z višanjem temperature padajo. Tudi faktor izgub s časom inkubacije olja narašča, najvišje vrednosti doseže pri najnižji temperaturi merjenja in frekvenci 2 MHz. Ugotovili smo pozitiven trend naraščanja oksidacijskih produktov ter TPM vrednosti z dielektričnimi lastnostmi, ki smo ga opisali s polinomom druge stopnje oziroma s premico. Ujemanje je najizrazitejše pri najnižji temperaturi merjenja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
DC UDC 664.34:543.2/.9:537.226(043)=163.6
CX oils/edible oils/sunflower oils/oil autooxidation/dielectric properties/fatty values/peroxide values/*p*-anisidine values/conjugated dienes/conjugated trienes/total polar compounds/TPM values
AU ZALOKAR, Klavdija
AA ABRAMOVIČ, Helena (supervisor)/ ŠEGETIN, Nataša (co-advisor)/ VIDRIH Rajko (reviewer)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Food Science and Technology
PY 2012
TI CORRELATION BETWEEN CLASSICAL DETERMINATION METHODS OF OXIDATION DEGREE IN VEGETABLE OIL AND ITS DIELECTRIC PROPERTIES
DT Graduation Thesis (University studies)
NO XIII, 60 p., 18 tab., 35 fig., 17 ann., 35 ref.
LA sl
AL sl/en
AB The main objective of the thesis was to demonstrate that the dielectric constant (ϵ') and dielectric loss factor (ϵ'') are suitable alternative to classical methods of determination of the oil oxidation progress. Standard type and high oleic sunflower oil were incubated at 70 °C in the dark. The progress of oxidation was measured in periodically withdrawn samples. The progress of oxidation was determined by spectrofotometricall determination of *p*-anisidine value, conjugated dienes and trienes. Titrimetric method was used to determine peroxide value and oil sensor Testo 270 to determine the content of polar material (TPM). Dielectric properties were measured with LCR meter at frequencies 100 Hz to 2 MHz and in the temperature range 20 to 50 °C. Fatty acid composition of oil influenced the ϵ' and ϵ'' , which were from the beginning to the end of incubation higher in a typical sunflower oil. Also the primary and secondary oxidation products and TPM value were higher in typical sunflower oil. Dielectric constant of both oils showed similar temperature and frequency dependence with plateau between the frequencies 1000 Hz to 1 MHz. The maximum ϵ' values were achieved at 20 °C and they are decreasing with incrised temperature. The dielectric loss factor also increases with incubation time, the maximum values were achieved at the lowest temperature and frequency of 2 MHz. Relationship between oxidation products as well TPM value and dielectric properties can be described with second order polynomial or linear trend, with the strongest dependency at 20 °C.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	IX
KAZALO PRILOG	XI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XII
1 UVOD	1
1.1 NAMEN NALOGE.....	2
1.2 DELOVNE HIPOTEZE.....	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 SONČNICA (<i>Helianthus annuus</i>).....	3
2.2 LIPIDI	4
2.2.1 Rastlinska olja	5
2.2.1.1 Sončnično olje.....	6
2.3 OKSIDACIJA LIPIDOV	7
2.3.1 Nastanek primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov	8
2.3.2 Analizne tehnike oksidativnih sprememb maščob	9
2.3.2.1 Peroksidno število	10
2.3.2.2 <i>p</i> -anizidinska vrednost	10
2.3.2.3 Določanje konjugiranih dienov in konjugiranih trienov	11
2.3.3 Novejše metode v analitiki oksidacije maščob	12
2.4 MERJENJE DIELEKTRIČNE KONSTANTE IN FAKTORJA IZGUB	12
2.4.1 Faktorji, ki vplivajo na dielektrične lastnosti živil	13
2.4.2 Uporaba dielektričnih lastnosti za ocenitev kvalitete živil	14
3 MATERIALI IN METODE	15
3.1 MATERIALI.....	15
3.1.1 Vzorci olja	15
3.1.2 Reagenti, pribor in aparature	15
3.2 METODE	16
3.2.1 Shematski prikaz inkubacije in vzorčenja olj	16
3.2.2 Klasične metode določanja oksidacije maščob	18
3.2.2.1 Metoda za določanje peroksidnega števila.....	18
3.2.2.2 Metoda za določanje <i>p</i> -anizidinskega števila.....	18
3.2.2.3 Metoda za določanje konjugiranih dienov in trienov.....	19

3.2.3	Določanje dielektričnih lastnosti.....	20
3.2.3.1	Priprava olja (sušenje).....	20
3.2.3.2	Sistem LCR meter Agilent E4980A s celico 16452A.....	21
3.2.3.3	Izračun dielektričnih parametrov iz meritev kapacitivnosti in upornosti.....	22
3.2.3.4	Čiščenje celice.....	23
3.2.3.5	Statistična obdelava podatkov.....	24
3.2.4	Merjenje z instrumentom Testo 270.....	24
3.2.4.1	Umerjanje senzorja.....	25
3.2.4.2	Vsebnost celokupnih polarnih komponent (TPM).....	25
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	26
4.1	REZULTATI KLASIČNIH KEMIJSKIH METOD DOLOČITVE OKSIDACIJE OLJ.....	26
4.2	REZULTATI MERITEV INSTRUMENTA TESTO 270.....	28
4.3	DIELEKTRIČNA KONSTANTA	28
4.3.1	Dielektrična konstanta vzorcev olja A	28
4.3.2	Dielektrična konstanta pri temperaturi meritve 20 °C za vzorce 1B-9B	30
4.3.3	Primerjava dielektrične konstante med vzorcema A in B.....	31
4.3.4	Plato dielektrične konstante	32
4.3.5	Povezava primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov z ϵ'_p	34
4.3.5.1	Vpliv peroksidnega števila na ϵ'_p	34
4.3.5.2	Vpliv konjugiranih dienov na ϵ'_p	36
4.3.5.3	Vpliv <i>p</i> -anizidinskega števila na ϵ'_p	38
4.3.5.4	Vpliv konjugiranih trienov na ϵ'_p	40
4.3.6	Vpliv TPM vrednosti na ϵ'_p	42
4.4	FAKTOR DIELEKTRIČNIH IZGUB	43
4.4.1	Faktor dielektričnih izgub za vzorce olja 1A in 9A	43
4.4.2	Faktor dielektričnih izgub za vzorce olja 1B in 9B.....	45
4.4.3	Spreminjanje faktorja izgub glede na čas inkubacije.....	46
4.4.4	Povezava primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov z ϵ''_{max}	48
4.4.4.1	Vpliv peroksidnega števila na ϵ''_{max}	49
4.4.4.2	Vpliv konjugiranih dienov na ϵ''_{max}	50
4.4.4.3	Vpliv <i>p</i> -anizidinske vrednosti na faktor izgub ϵ''_{max}	50
4.4.4.4	Vpliv konjugiranih trienov na faktor izgub ϵ''_{max}	51
4.4.5	Vpliv TPM vrednosti na faktor izgub ϵ''_{max}	52
5	SKLEPI	54
6	POVZETEK.....	55
7	VIRI.....	57

ZAHVALA
PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kemijska sestava semena, endosperma in ovoja sončničnega semena (Matijašević-Oštrič in Turkulov, 1980).	4
Preglednica 2: Primerjava maščobno kislinske sestave sončničnega in sončničnega olja z višjo vsebnostjo oleinske kisline (O'Brien, 2004).	7
Preglednica 3: Analizne metode za ocenjevanje obsega oksidacije v maščobah in živilih, ki vsebujejo maščobe (Gray, 1985; Chopra in Panesar, 2010).	9
Preglednica 4: Časovni prikaz inkubacije in vzorčenja olja A in B.	16
Preglednica 5: Rezultati kemijskih analiz vzorcev olja 1A do 9A in 1B do 9B v odvisnosti od časa inkubacije v temi pri temperaturi 70 °C.	26
Preglednica 6: Vsebnost celokupnih polarnih snovi (TPM) v vzorcih 1A do 9A in 1B do 9B, v odvisnosti od časa inkubacije v temi, pri temperaturi 70 °C.	28
Preglednica 7: Povprečna vrednost dielektrične konstante (ϵ'_p) določena v frekvenčnem območju 1000 Hz-1 MHz in njena standardna deviacija za vzorce olja 1A-9A in 1B-9B.	33
Preglednica 8: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od peroksidnega števila v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.	36
Preglednica 9: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od konjugiranih dienov v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.	38
Preglednica 10: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od <i>p</i> -anizidinske vrednosti v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.	40
Preglednica 11: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od konjugiranih trienov v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.	41
Preglednica 12: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti, ki opisujejo odvisnost celokupnih polarnih snovi od dielektrične konstante v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.	43
Preglednica 13: Faktor dielektričnih izgub za posamezne paralelke (ϵ''_{\max}), povprečna vrednost $\bar{\epsilon}''_{\max}$ s standardno deviacijo za vzorce olja A in B pri 20 °C in frekvenci 2 MHz.	48

- Preglednica 14: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube od peroksidnega števila za vzorce olja A in B..... 49
- Preglednica 15: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube od konjugiranih dienov za vzorce olja A in B. 50
- Preglednica 16: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od *p*-anizidinske vrednosti, za vzorce olja A in B. 51
- Preglednica 17: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od konjugiranih trienov, za vzorce olja A in B. 52
- Preglednica 18: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od TPM vrednosti, za vzorce olja A in B..... 53

KAZALO SLIK

Slika 1: Fotografija sončnice.....	3
Slika 2: Klasifikacija linolne kisline (Chopra in Pensar, 2010).	6
Slika 3: Različni tipi konjugiranih in nekunjugiranih vezi v maščobnih kislinah (A-večkrat nenasičena maščobna kislina (PUFA), B- radikal PUFA z konjugiranim dienom, C- PUFA hidroperoksid z konjugiranim dienom (Wrolstad in sod., 2005).....	11
Slika 4: Shematski potek vzorčenja, inkubacije, shranjevanja in analiz vzorcev olja A.	17
Slika 5: Fotografija računalnika, sistema celice, merilnika za merjenje impedance, termostata in uporabnega termometra.	21
Slika 6: Shema vezave celice (Agilent, 16452A) z LCR merilnikom (Agilent, E4980A) (Agilent Technologies, 2000).	22
Slika 7: Fotografija razstavljenе celice na kateri so vidni: kovinski distančnik, čepa za zapiranje in tesnila.	23
Slika 8: Merilnik Testo 270 z zapestnim trakom in referenčnim oljem v shranjevalnem kovčku.	25
Slika 9: Odvisnost konjugiranih dienov (E_{232}) od peroksidnega števila ($PS\check{S}$) za vzorca olj A in B.	27
Slika 10: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1A.	29
Slika 11: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9A.	29
Slika 12: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri temperaturi meritve 20 °C za vzorce olja 1B-9B.....	30
Slika 13: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) pri temperaturi 20 °C in 50 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce olja 1A in 9A.....	31
Slika 14: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) pri temperaturi 20 °C in 50 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce olja 1B in 9B.	32
Slika 15: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od peroksidnega števila ($PS\check{S}$) za vzorce olja A.....	35
Slika 16: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od peroksidnega števila ($PS\check{S}$) za vzorce olja B.....	35
Slika 17: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih dienov za vzorce olja A. 37	
Slika 18: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih dienov za vzorce olja B. 38	
Slika 19: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od p -anizidinske vrednosti (p -AV) za vzorce olja A.	39
Slika 20: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od p -anizidinske vrednosti (p -AV) za vzorce olja B.	39
Slika 21: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja A. 40	

Slika 22: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja B.	41
Slika 23: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja A.	42
Slika 24: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja B.	42
Slika 25: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1A.	44
Slika 26: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9A.	44
Slika 27: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1B.	45
Slika 28: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9B.	46
Slika 29: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') pri 20 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce 1A, 5A in 9A.	47
Slika 30: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') pri 20 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce 1B, 5B in 9B.	47
Slika 31: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{max}) v odvisnosti od peroksidnega števila ($PS\check{S}$) za vzorce olja A in B.	49
Slika 32: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{max}) v odvisnosti od konjugiranih dienov za vzorce olja A in B.	50
Slika 33: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{max}) odvisnosti od <i>p</i> -anizidinske vrednosti (<i>p</i> -AV) za vzorce olja A in B.	51
Slika 34: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{max}) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja A in B.	51
Slika 35: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{max}) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja A in B.	52

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Kapacitivnost zraka v odvisnosti od frekvence, pri temperaturah merjenja 20, 25, 40 in 50 °C.
- Priloga B: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.
- Priloga C: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.
- Priloga D: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.
- Priloga E: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.
- Priloga F: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.
- Priloga G: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.
- Priloga H: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.
- Priloga I: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.
- Priloga J: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.
- Priloga K: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.
- Priloga L: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.
- Priloga M: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.
- Priloga N: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.
- Priloga O: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.
- Priloga P: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.
- Priloga R: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

A	sončnično olje Cekin
1A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C tri dni
2A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C sedem dni
3A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C deset dni
4A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C štirinajst dni
5A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C sedemnajst dni
6A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C enaindvajset dni
7A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C štiriindvajset dni
8A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C osemindvajset dni
9A	sončnično olje Cekin inkubirano na 70 °C enaintrideset dni
B	sončnično olje Gea z visoko vsebnostjo oleinske kisline
1B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C tri dni
2B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C sedem dni
3B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C deset dni
4B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C štirinajst dni
5B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C sedemnajst dni
6B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C enaindvajset dni
7B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C štiriindvajset dni
8B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C osemindvajset dni
9B	sončnično olje Gea inkubirano na 70 °C enaintrideset dni
E ₂₃₂	ekstinkcijski koeficient za konjugirane diene
E ₂₆₈	ekstinkcijski koeficient za konjugirane triene
<i>PS</i>	peroksidno število
<i>p-AV</i>	<i>p</i> -anizidinska vrednost
TPM	totalni polarni material
ϵ'	dielektrična konstanta
ϵ''	faktor dielektričnih izgub

1 UVOD

Lipidi so poleg beljakovin in ogljikovih hidratov ključni gradniki celic. S 15 g do 20 g njihovega dnevnega vnosa zagotovimo telesu potrebno energijo, omogočimo prenos in sintezo vitaminov (A, D, E, K), hormonov, citokinov in žolčnih kislin.

Vsebnost lipidov v živilih je od 0,2 % v belem krompirju do 70 % v oreščkih. Esencialnih maščobnih kislin (linolne in linolenske) naš organizem ne more sintetizirati sam. Zadosten dnevni vnos pa zagotavljamo tudi z rastlinskimi olji (Chopra in Panesar, 2010). Rastlinska olja večinoma pridelujejo iz semen enoletnih rastlin, med katerimi je sončnica (*Helianthus annuus*) po pridelavi na četrtem mestu. Sončnična olja se med seboj razlikujejo glede na različen delež posameznih maščobnih kislin, na kar pa imajo vpliv predvsem genetski faktorji, podnebje, temperatura in pozicija cvetov. Tipično sončnično olje povprečno vsebuje 68 % linolne (C 18:2 n-6) in 19 % oleinske kisline (C 18:1 n-9), v oleinskem tipu olja pa je 81 % oleinske in 9 % linolne kisline (O'Brien, 2004). S sodobnimi genetskimi tehnikami so uspeli pridelati še srednje oleinsko olje s 60 % do 75 % oleinske kisline in stearinsko-oleinski tip olja z 18 % stearinske (C 18:0) in 72 % oleinske kisline (Sunflower Statistic, 2011).

Sončnično olje se v prehrani uporablja za kuhanje, cvrtje, v solatah in za izdelavo margarin (Abraham in Hron, 1992). Olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline pa je zaradi dobre oksidativne stabilnosti primerno v prehrani dojenčkov in starejših (O'Brien, 2004).

Olja so že med ekstrakcijo, čiščenjem in samo uporabo izpostavljena fizikalnokemijskim dejavnikom, ki vplivajo na njihove lastnosti (Rudan-Tasič in Klofutar, 1999). Oksidacija lipidov privede do žarkosti živil, izgube hranilne vrednosti in esencialnih maščobnih kislin, možen pa je tudi nastanek toksičnih in barvnih produktov (Chopra in Panesar, 2010) in posledično nastane tudi ekonomska škoda v industriji.

Tako je prišlo do razvoja več analiznih metod s katerimi določamo oksidativne spremembe v živilih. Testi so lahko prediktivni, ko rezultati meritev ob pospešenih pogojih za oksidacijo maščob omogočijo, da lahko predvidimo oksidativno stabilnost maščob in učinkovitost konzervansov. Z indikatorskimi testi pa določamo dejansko stanje oksidacije v maščobnem sistemu, najpogosteje z uporabo metod določitve *p*-anizidinske vrednosti in peroksidnega števila (Chopra in Panesar, 2010). Zaradi velike porabe topil in časovnega prihranka pa se klasične metode skušajo nadomestiti z novejšimi.

Merjenje dielektričnih lastnosti (dielektrična konstanta in faktor izgub) predstavlja novejšo alternativno metodo določanja napredovanja oksidacije olj, analiza je izvedena hitro in da natančne rezultate, omejitev pa predstavlja cena opreme (Datta in sod., 2005). Dielektrične lastnosti nam dajejo informacije o interakciji živil z elektromagnetno energijo. Dielektrična konstanta opisuje zmožnost materiala, da shrani energijo ob vzpostavitvi dielektričnemu polju, faktor izgub pa opisuje razprševanje energije. Na dielektrične lastnosti vplivajo temperatura in frekvenca merjenja in samo živilo (sestava, struktura, gostota, vsebnost vode, soli, čas skladiščenja...) (Sosa-Morales in sod., 2010).

V manjših laboratorijih in restavracijah, kjer ni na voljo laboratorijske opreme, so zelo uporabni merilniki za hitro preverjanje oksidacije olja. Tako lahko z aparatom Testo 270 v fritezi med cvrtjem, hitro preverimo, koliko je bilo olje že termično obdelano.

1.1 NAMEN NALOGE

Namen naloge je spremljati potek oksidacije dveh sončničnih olj z različno maščobno kislinsko sestavo, inkubiranih v temi pri 70 °C. S periodičnim odvzemanjem vzorcev smo določili primarne in sekundarne oksidacijske produkte s klasičnimi kemijskimi in instrumentalnimi metodami. Spektrofotometrično smo določali *p*-anizidinsko vrednost, konjugirane diene ter konjugirane triene, titrimetrično pa peroksidno število. Z instrumentom Testo 270 smo izmerili vsebnost polarnih komponent v vzorcih in z LCR (Liquid Test Fixture) metrom dielektrične lastnosti. Naš namen je dokazati, da sta določitev dielektrične konstante in faktorja dielektričnih izgub ustrezna alternativa klasičnim metodam za določanje napredovanja oksidacije olj.

1.2 DELOVNE HIPOTEZE

- Predpostavljamo, da se bo kemijska sestava tipičnega in oleinskega sončničnega olja, spreminjala s časom inkubacije pri 70 °C.
- Dielektrične lastnosti (dielektrična konstanta in faktor izgub) so odvisne od maščobno kislinske sestave olja, stopnje oksidacije, temperature in frekvence merjenja.
- Pričakujemo povezavo med dielektričnimi lastnostmi, polarnimi snovmi in s klasičnimi kemijskimi metodami določenimi produkti oksidacije.

2 PREGLED OBJAV

2.1 SONČNICA (*Helianthus annuus*)

Sončnico so verjetno že pred koruzo gojili severnoameriški indijanci in uporabljali semena za zdravilo, moko za hrano in ekstrakte za barvanje. Španski raziskovalci so jo v 16. stoletju prinesli v Evropo, za njen razvoj pa je zaslužen Peter Veliki. Okoli leta 1830 se je tako v Rusiji začelo njeno gojenje v namene oljarstva, kasneje pa so s kemično mutagenozo in s selektivno vzgojo ustvarili rastline z večjo vsebnostjo oleinske kisline. Prvi tak pridelek je zrasel v ZDA leta 1984 (O'Brien, 2004).



Slika 1: Fotografija sončnice.

Od danes poznanih 67 vrst sončnic je najbolj razširjena *Helianthus annuus*, ki se tudi edina goji v namene oljarstva. Spada v družino *Compositae* in zraste povprečno 1 do 3 m visoko, s premerom cvetov 0,3 m in premerom stebela 3 do 6 cm. Glava sončnice je heliotropična, kar pomeni, da se obrača proti soncu, dokler ni večina cvetov oplojena in takrat ostane obrnjena na vzhod (Abraham in Hron, 1992).

Glede na statistične podatke National Sunflower Association je bilo v letu 2009/2010 v svetu pridelanih $3,26 \cdot 10^7$ ton sončničnih semen, od tega v Evropski uniji $7,01 \cdot 10^6$ ton. Za produkcijo olj pa je bilo porabljenih $1,23 \cdot 10^7$ ton semen (Sunflower Statistic, 2011).

Preglednica 1: Kemijska sestava semena, endosperma in ovoja sončničnega semena (Matijašević-Oštrič in Turkulov, 1980).

	Vsebnost (%)		
	Seme	Endosperem	Ovoj
Olje	40-60	55-74	2-5
Proteini	14-22	16-31	3-6
Celuloza	13-32	2-4	49-67
Brezdušične ekstraktivne snovi	7-11	7-10	25-40
Neumiljive snovi	1,09-1,20	1,06	22,46-24,32
Voski	0,09-0,11	/	0,33-0,43

Iz preglednice 1 vidimo, da se največ olja nahaja v semenu. Pred predelavo z luščenjem odstranijo ovoj, ki vsebuje največ v olju nezaželenih neumiljivih snovi in voskov (Matijašević-Oštrič in Turkulov, 1980). V olje se ekstrahira 0,02 do 0,35 % voskov, ki jih je potrebno odstraniti, da ne povzročijo motnosti pri skladiščenju olja pod 21,1 °C (O'Brien, 2004). Nezaželeno je tudi klorogenska kislina, ki jo seme vsebuje 0,6-1,5 % in olje 0,005-0,08 %, saj deluje inhibitorno na reabsorpcijo aminokislin v telesu (Matijašević-Oštrič in Turkulov, 1980).

Sončnično seme ima širok spekter uporabe: v prehrani, za živalsko krmo in v industriji barv. Olje je v prehrani primerno za kuhanje, cvrtje, v solatah in za margarine. Preostanek semen pri stiskanju olja se uporablja za živalsko krmo, luščine pa se uporabljajo za proizvodnjo etanola in furfurala, kvasa in za izdelavo vezanih plošč (Abraham in Hron, 1992).

Sončnično olje z visoko vsebnostjo oleinske kisline je manj viskozno in je zato uporabno za razprševanje na površino živil, kjer je potreben tanek nanos olja, npr. pri prigrizkih, krekerjih in kosmičih. Ima pa tudi izjemno oksidativno stabilnost in je primerno v prehrani za dojenčke in starejše ljudi (O'Brien, 2004).

2.2 LIPIDI

Lipidi so poleg beljakovin in ogljikovih hidratov osnovni gradniki celic in vir hranil (Chopra in Panesar, 2010). Izraz maščoba, ki se pogosto uporablja, ne definira lipidov, ampak je samo ena izmed njihovih podskupin (Perkins, 1991). Lipide ne razvrščamo glede na njihovo kemijsko zgradbo, ampak glede na fizikalne lastnosti, kot je topnost. Po definiciji so velika in raznolika skupina organskih spojin, ki so netopne v vodi in močno topne v nepolarnih organskih topilih, kot so eter, kloroform in benzen (Chopra in Panesar, 2010).

Lipide delimo na enostavne in kompleksne. Za enostavne, kot so holesterol in ostali steroli velja, da nimajo estrske vezi in jih ne moremo hidrolizirati. V nasprotju od enostavnih, pa imajo kompleksni estrske vezi, ki se lahko hidrolizirajo in pri tem nastanejo manjše molekule. Med sestavljene lipide uvrščamo masti, olja in voske.

Lipidi so lahko v obliki enostavnih verižnih molekul z vodikom, ogljikom in kisikom, ali kompleksne ciklične strukture s stranskimi verigami. Glede na kemijsko strukturo poznamo več skupin lipidov:

- a) maščobne kisline - dolgoverižne alifatske karboksilne kisline, ki so lahko nasičene ali nenasičene
- b) voski - estri dolgoverižnih maščobnih kislin in alkohola
- c) živalske masti in rastlinska olja (triacilgliceroli oz. trigliceridi) - estri maščobnih kislin z glicerolom
- d) fosfolipidi - estri glicerola z maščobnimi kislinami in fosfatnimi skupinami
- e) sfingolipidi - estri maščobnih kislin s sfingozinom
- f) steroli - policiklični alifati (holesterol, spolni hormoni, žolč)
- g) prostoglandini, eikozanoidi, levkotrieni - oksigenirani derivati dolgoverižnih maščobnih kislin
- h) lipoproteini - proteini povezani z lipidi (Chopra in Panesar, 2010).

2.2.1 Rastlinska olja

Estri maščobnih kislin z glicerolom (1,2,3-trihidroksipropanol) so skupina lipidov poznanih kot olja in masti. Trde oziroma poltrde imenujemo masti in so živalskega izvora. Rastlinska olja pa so pri sobni temperaturi tekoča, kar je posledica drugačne maščobno kislinske sestave, saj vsebujejo večinoma nenasičene maščobne kisline (Chopra in Panesar, 2010).

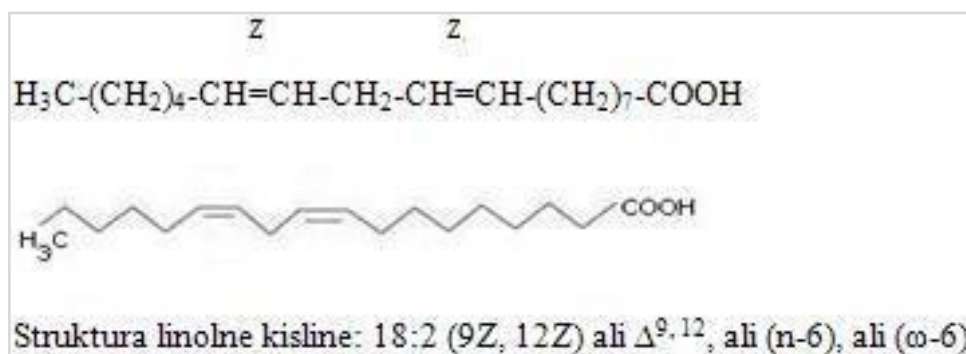
Maščobne kisline se razlikujejo v dolžini verige, številu, poziciji in konfiguraciji vezi in v dodanih funkcionalnih skupinah. Tiste z enojnimi vezmi so nasičene, nenasičene maščobne kisline pa vsebujejo eno ali več dvojnih vezi v alifatski verigi (Belitz in Grosch, 1999). Večina jih je s sodim številom ogljikovih atomov, le teh je v molekuli od 2 do 80, najpogosteje pa od 12 do 24. Glede na to jih razdelimo na kratko verižne z 2 do 6, srednje verižne z 8 do 10 in dolgo verižne z 12 in več ogljikovimi atomi (Chopra in Panesar, 2010).

V živilih se maščobne kisline pojavljajo v različnih razmerjih, več je oleinske (34 %), linolne (34 %) in palmitinske (11 %). V manjših količinah pa so prisotne še miristinska (2 %), stearinska (4 %) in linolenska maščobna kislina (5 %). V naravi torej prevladujejo nenasičene maščobne kisline (Belitz in Grosch, 1999).

Nasičene maščobne kisline s splošno formulo $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ so ponavadi v obliki ravne verige s sodim številom ogljikovih atomov. Poimenovanje izhaja iz števila ogljikovih atomov na ogljikovodikovi verigi, s tem da imenu ogljikovodika dodamo končnico -ojska kislina. Npr. nasičena maščobna kislina z 18 ogljikovimi atomi je oktadekanojska kislina, ki pa je poznana tudi pod trivialnim imenom stearinska kislina. Lahko pa za to kislino uporabimo tudi zapis 18:0, kar pomeni, da ima 18 ogljikovih atomov in da ni nenasičena (Chopra in Panesar, 2010). Trivialno poimenovanje izhaja iz naravnega nahajališča same maščobne kisline, kot je v primeru oleinske kisline, ki izhaja iz latinske besede oleum, ki pomeni olje (Perkins, 1991).

Nenasičene maščobne kisline vsebujejo dvojno vez, tiste z eno dvojno vezjo med ogljikovima atomoma so mononenasičene (MUFA), tiste z dvema ali več dvojnimi vezmi pa so večkrat nenasičene (PUFA).

Primer za kemijsko poimenovanje je zapis linolne kisline (z IUPAC imenom cis-9,cis-12-oktadekadienojska kislina) v obliki: 18:2 $\Delta^{9,12}$, kjer znak Δ označuje mesto dvojne vezi (slika 2). Dvojne vezi so ponavadi cis (Z) konfiguracije in redkeje trans (E).



Slika 2: Klasifikacija linolne kisline (Chopra in Pensar, 2010).

Po biokemijskem poimenovanju pa lahko to maščobno kislino zapišemo tudi: C18:2 n-6, kar nam pove, da je sestavljena iz 18 ogljikovih atomov, dveh dvojnih vezi in da se zadnja dvojna vez nahaja 6 ogljikovih atomov od zadnje metilne skupine. V starejši literaturi pa se pojavlja tudi poimenovanje 18:2 (ω -6) (Chopra in Panesar, 2010).

Ena izmed pomembnejših fizikalnih lastnosti maščobnih kislin je topnost v vodi, ki narašča sorazmerno, z zmanjševanjem števila ogljikovih atomov. Dolgoverižne maščobne kisline so tako v vodi praktično netopne in tvorijo plavajoči film, v katerem so karboksilne skupine obrnjene proti vodi, obratno pa so orientirani hidrofobni repi. Kratko verižne maščobne kisline, kot je npr. butanojska s štirimi ogljikovimi atomi, pa so v vodi že popolnoma topne. Pri nenasičenih maščobnih kislinah pa topnost narašča s številom dvojnih vezi (Belitz in Grosch, 1999).

2.2.1.1 Sončnično olje

Surovo sončnično olje je jantarne barve in ima karakterističen vonj, ki se s postopkom deodorizacije odstrani (Swern, 1972). Rafinirano olje pa je slamnate barve.

Tipične fizikalne lastnosti sončničnega olja pri 25 °C so: specifična gostota 0,915-0,919, indeks refrakcije 1,472-1,475, jodno število 125,0-136,0 in saponifikacijsko število 188-194. Na fizikalnokemijske lastnosti sončničnega olja imajo odločilen vpliv rastni pogoji (klima in temperatura), genetski faktorji in pozicija cvetov. Tako velja, da so sončnice v ZDA nad 39. vzporednikom bogatejše z linoleinsko kislino in pod tem vzporednikom z oleinsko. Pri oleinskem tipu sončničnega olja je pri 25 °C specifična gostota 0,912-0,915, indeks refrakcije znaša 1,467-1,469, jodno število 78,0-88,0 in saponifikacijsko število 188-194 (O'Brien, 2004).

Preglednica 2: Primerjava maščobno kislinske sestave sončničnega in sončničnega olja z višjo vsebnostjo oleinske kisline (O'Brien, 2004).

MAŠČOBNE KISLINE	vsebnost maščobnih kislin (% w/w)	
	sončnično olje	sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline
miristinska (C-14:0)	0,1	/
palmitinska (C-16:0)	7,0	3,7
palmitoleinska (C-16:1)	0,1	0,1
stearinska (C-18:0)	4,5	5,4
oleinska (C-18:1)	18,7	81,3
linolna (C-18:2)	67,5	9,0
α -linolenska (C-18:3)	0,8	/
arahidonska (C-20:0)	0,4	0,4
gondojska (C-20:1)	0,1	/
behenska (C-22:0)	0,7	0,1

V preglednici 2, ki podaja primerjavo maščobno kislinske sestave sončničnega in sončničnega olja z višjo vsebnostjo oleinske kisline, opazimo bistveno razliko v sestavi. Sončnično vsebuje 18,7 % oleinske in 67,5 linolne kisline, medtem ko je pri oleinskem tipu razmerje ravno obratno, saj vsebuje 81,3 % oleinske in 9,0 % linolne kisline. Več miristinske, palmitinske, α -linolenske in behenske kisline pa najdemo v tipičnem sončničnem olju.

Leta 2002 na trg prišlo tudi olje NuSon, bolje poznano kot srednje oleinsko olje s 60 do 75 % oleinske kisline, kar je več od tradicionalnega in manj kot pri sončničnem olju z višjo vsebnostjo oleinske kisline (O'Brien, 2004). Z novjšimi genetskimi metodami pa so leta 2010 vzgojili še rastline s stearinsko-oleinski tipom olja NutrisunTM, z 18 % stearinske kisline in 72 % oleinske kisline, ki je po funkcionalnosti mišljeno kot zamenjava za delno hidrogenirana in tropska olja z višjo stopnjo nenasičenosti (Sunflower Statistic, 2011).

2.3 OKSIDACIJA LIPIDOV

Oksidacija lipidov v živilih vodi do žarkosti, izgube hranilne vrednosti zaradi uničenja vitaminov (A, D in E) in esencialnih maščobnih kislin, pride pa lahko tudi do tvorbe toksičnih in barvnih produktov (Chopra in Panesar, 2010).

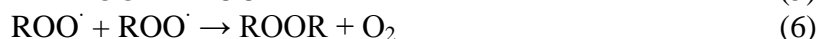
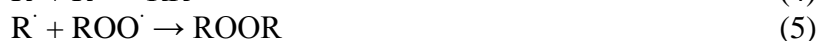
Medtem, ko hidroliza nastopi že v samem plodu rastline, se oksidacija pojavi v prisotnosti kisika, ko je olje že iztisnjeno. V prisotnosti svetlobe poteče fotooksidacija in v temi t.i.

avtooksidacija. Količina raztopljenega kisika v olju je odvisna od predelave in skladiščenja, lahko pa se zmanjša s pakiranjem v vakuumu in z uporabo inertnega plina (Kiritsakis in sod., 1998).

Lipidna oksidacija živil je povezana z reakcijami nenasičenih maščobnih kislin s kisikom. Hitrost oksidacije narašča s stopnjo nenasičenosti maščobnih kislin in pri tem pride do tvorbe primarnih in sekundarnih produktov (Chopra in Panesar, 2010).

2.3.1 Nastanek primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov

Avtooksidacija je reakcija med prostimi radikali in poteka v treh stopnjah, ki so prikazane v nadaljevanju: začetek ali iniciacija, nadaljevanje ali propagacija in zaključek ali terminacija (Shahidi in Wanasundara, 2008).



RH nenasičena maščobna kislina

R \cdot radikal maščobne kisline

ROO \cdot peroksidni radikal

ROOH hidroperoksid

V fazi iniciacije pride do odvzema vodikovega atoma (H) iz metilenske skupine nenasičene maščobne kisline (RH) in s tem do tvorbe radikala maščobne kisline (R \cdot). Reakcijska hitrost v tej fazi je odvisna od stopnje nenasičenosti maščobnih kislin in prisotnosti antioksidantov (Kiritsakis in sod., 1998). Za produkcijo nekaj prvih radikalov je potrebno okoli 35 kcal/mol aktivacijske energije, na hitrost reakcije pa vpliva tudi prisotnost katalizatorjev: svetlobe, toplote in kovinskih ionov (Chopra in Panesar, 2010). Nastali radikal maščobne kisline (R \cdot) se v fazi propagacije veže z atmosferskim kisikom in nastane nestabilni peroksidni radikal (ROO \cdot), ki z metilensko skupino druge nenasičene maščobne kisline (RH) tvori hidroperoksid (ROOH) in ponovno nastane radikal maščobne kisline (R \cdot). Ta radikal se lahko veže z kisikom in verižno nadaljuje reakcijo. V fazi terminacije se verižna reakcija konča s tvorbo neradikalnih produktov (Shahidi in Wanasundara, 2008).

Hidroperoksidi so primarni oksidacijski produkti. Iz hidroperoksidov nastanejo sekundarni oksidacijski produkti: aldehidi, ketoni, alkoholi, estri, malonaldehidi in drugi, ki jih v živilih zaznamo zaradi spremembe vonja in okusa (Chopra in Panesar, 2010).

2.3.2 Analizne tehnike oksidativnih sprememb maščob

Pri oksidaciji olj prihaja do sprememb v kemijskih, fizikalnih in organoleptičnih lastnostih, ki jih beležimo z različnimi analiznimi metodami, med katerimi pa ni nobene standardne za detekcijo vseh oksidativnih sprememb v živilih (Shahidi in Wanasundara, 2008).

Testi za zaznavanje oksidativnih sprememb v maščobah so lahko prediktivni (dinamični) ali indikatorski (statični). S prediktivnimi testi ob pospešenih pogojih za oksidacijo, določamo stabilnost maščob ali končnih produktov, preverjamo kvaliteto sestavin, učinkovitost konzervansov in ocenimo rok uporabnosti. Pri indikatorskih testih pa določimo dejansko stanje oksidacije, najpogosteje z merjenjem peroksidnega števila, *p*-anizidinske vrednosti, testom tiobarbiturne kisline (TBA), Kreisovim testom in drugimi (Chopra in Panesar, 2010).

V preglednici 3 so podane nekatere analizne metode za ocenitev oksidacije lipidov v živilih.

Preglednica 3: Analizne metode za ocenjevanje obsega oksidacije v maščobah in živilih, ki vsebujejo maščobe (Gray, 1985; Chopra in Panesar, 2010).

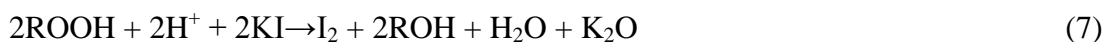
Analizne metode	Ocenjeni parameter
STATIČNE (indikatorske) METODE	
1. KEMIJSKE METODE	
peroksidno število	peroksidi
TBA vrednost (število tiobarbiturne kisline)	malonaldehidi
karbonilno število	vse karbonilne skupine
<i>p</i> -anizidinsko število	α , β -nenasičene karbonilne spojine
Kreisov test	epoksialdehidi, acetali
2. FIZIKALNE METODE	
UV absorpcija	konjugirani dieni/ trieni
fluorescenca	1-amino-3-iminopropenske strukture
plinska kromatografija	hlapne komponente
polarografija	hidroperoksidi
DINAMIČNE (prediktivne) METODE	
Schaal oven test	priokusi, peroksidi
metoda aktivnega kisika	peroksidi
test absorpcije kisika	absorbpcija kisika
jodovo število	dvojne vezi nenasičenih MK

Analizne metode lahko ločimo tudi glede na to, katere oksidativne spremembe zaznavajo (Shahidi in Wanasundara, 2008). V okviru diplomske naloge smo primarne spremembe oksidacije ugotavljali z določitvijo peroksidnega števila in konjugiranih dienov, sekundarne pa z določitvijo *p*-anizidinske vrednosti in konjugiranih trienov.

2.3.2.1 Peroksidno število

S peroksidnim številom oz. peroksidno vrednostjo (mmol O₂/kg maščobe) merimo koncentracijo primarnih produktov hidroperoksidov, ki se tvorijo v procesu oksidacije maščob. Tehnike za merjenje lahko temeljijo na določitvi količine joda, ki nastane iz kalijevega jodida ali pa na oksidaciji železovih ionov (Chopra in Panesar, 2010).

Klasična jodometrična metoda ($2I^- \rightarrow I_2 + 2e^-$) temelji na redukciji hidroperoksida (ROOH) z jodidom (I⁻). Količina sproščenega joda (I₂) je proporcionalna koncentraciji prisotnega peroksida in jo določimo titrimetrično s standardno raztopino natrijevega tiosulfata (Na₂S₂O₃), ob dodatku indikatorja škrobovice. Kemijska reakcija, ki ponazarja določitev peroksidnega števila, je prikazana z enačbama 7 in 8 (Shahidi in Wanasundara, 2008).



Potencialne slabosti te empirične metode so v absorpciji joda na nenasičena mesta maščobnih kislin in oksidaciji jodida v jod s kisikom, ki je prisoten v raztopini. Na končni rezultat vplivajo tudi temperatura in čas reakcije, ter reaktivnost in struktura peroksidov. Metoda je problematična tudi pri nizkih vrednostih peroksidnega števila, zaradi težke določitve končne točke titracije (Shahidi in Wanasundara, 2008). To so modificirali Kardash-Strochkova in sod. (2001) z redoks potenciometrično določitvijo jodidnih ionov, ki poteka v elektrokemijski celici zaščiteni pred svetlobo. Kemijska reakcija, ki poteče, je enaka, kot pri standardni metodi, niso pa potrebna topila za olje. Prednosti te metode so v avtomatizaciji, ne zahteva veliko časa, dela in, kar je najbolj pomembno, limitna meja kvantifikacije znaša 0,08 mmol O₂/kg, kar pomeni, da lahko določamo peroksidno število tudi v svežih oljih.

V literaturi se pojavlja mnogo alternativ uradni titrimetrični metodi. Tako so Yildiz in sod. (2003) primerjali uradno titracijsko metodo AOCS (Official Method Cd 8-53) določanja peroksidnega števila na oksidiranem sojinem olju s tremi drugimi metodami. Dokazali so primerljivost z bližnjo infrardečo spektroskopijo (NIR) in kolometrično metodo PeroxySafe, ki temelji na oksidaciji železa.

Bezzi in sod. (2008) so določali peroksidno vrednost olivnemu olju z luminol kemilumeniscenco z uporabo hema kot katalizatorja. Ugotovili so dobro korelacijo standardnimi metodami določanja peroksidnega števila v območju 1-15 mmol O₂/kg

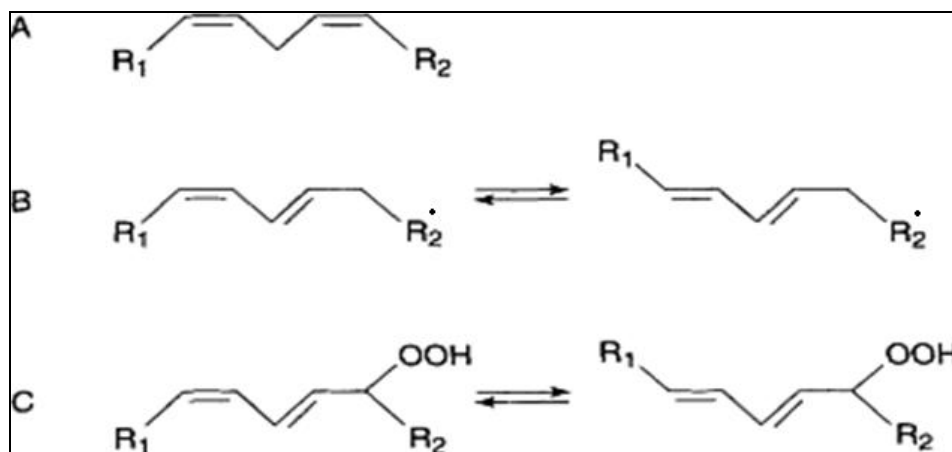
2.3.2.2 *p*-anizidinska vrednost

Metoda *p*-anizidinskega števila oz. vrednosti določa količino sekundarnih produktov oksidacije, aldehydov (v bistvu 2-alkenale in 2,4-alkadienale) v živalskih maščobah in rastlinskih oljih. Aldehydi iz olja reagirajo z *p*-anizidinskim reagentom v kislem okolju in tvori se rumeno obarvan produkt, ki ga beležimo spektrofotometrično pri valovni dolžini 350 nm (Shahidi in Wanasundara, 2008).

Prednosti metode so v njeni hitrosti, izvajanju direktno v vzorcu olja brez izolacije. Pri določitvi ni potrebe po segrevanju ali uporabi močnih kislin, pa tudi prisotnost hidroperoksidov nima vpliva (White, 1995).

2.3.2.3 Določanje konjugiranih dienov in konjugiranih trienov

V organski kemiji označuje konjugiran dien dve dvojni vezi ločeni z eno enojno. V oljih prisotnost konjugiranih dienov v molekuli maščobne kisline (slika 3) nakazuje avtooksidacijo. V oljih z večkrat nenasičenimi maščobnimi kislinami pride med oksidacijo pri nastanku hidroperoksida do migracije dvojne vezi in tvorijo se konjugirani dieni, ki jih lahko določimo spektrofotometrično (Wrolstad in sod., 2005). Konjugirani dieni tako absorbirajo UV svetlobo pri 232 nm in z njimi merimo primarne produkte oksidacije. Dobljeni rezultati so primerljivi z vrednostjo peroksidnega števila. Prednosti v primerjavi z merjenjem peroksidnega števila so v hitrosti, preprostejši izvedbi z manjšo količino vzorca in z manjšo uporabo reagentov. Do tvorbe konjugiranih dienov pa lahko pride tudi med hidrogenacijo in deodorizacijo olja (White, 1995).



Slika 3: Različni tipi konjugiranih in nekunjugiranih vezi v maščobnih kislinah (A-večkrat nenasičena maščobna kislina (PUFA), B- radikal PUFA z konjugiranim dienom, C- PUFA hidroperoksid z konjugiranim dienom (Wrolstad in sod., 2005).

Z nadaljevanjem oksidacije in razpadom hidroperoksidov nastajajo sekundarni produkti s konjugirano triensko strukturo. Konjugirani trieni v molekuli maščobne kisline so v naravi prisotni v nekaterih oljih (npr. v tungovem olju – *Vernicia fordii*), tvorijo pa se tudi med beljenjem olj. Konjugirani trieni kažejo tri absorpcijske pasove v UV območju. Glavni vrh je pri 268 nm, drugi je pri 278 nm in zadnje območje se razteza okoli glavnega vrha pri valovni dolžini 262-274 nm (Wrolstad in sod., 2005).

2.3.3 Novejše metode v analitiki oksidacije maščob

Oksidacijske spremembe maščob so v preteklosti lahko spremljali le z merjenjem primarnih ali sekundarnih produktov, kar pa se je spremenilo z odkritji v pulzni radiolizi in elektronski spinski resonanci (ESR), ki sta omogočila preučevanje kratko stabilnih prostih radikalov. Tako so postale zelo uporabne metode z infrardečo spektroskopijo (IR), kemiluminiscenčno spektroskopijo in nuklearno magnetno resonanco (NMR) (Shahidi in Wanasundara, 2008).

2.4 MERJENJE DIELEKTRIČNE KONSTANTE IN FAKTORJA IZGUB

Elektromagnetno sevanje, kot sta radiofrekvenčno in mikrovalovno, sta pomembna procesa v živilski industriji, saj omogočata segrevanje, kuhanje, pečenje, sušenje, pasterizacijo in sterilizacijo živil.

Absorpcija mikrovalovne energije v živilih vključuje dva mehanizma, dipolno relaksacijo in ionsko prevodnost. Voda je tista komponenta v živilu, ki povzroča dielektrično segrevanje. Zaradi svojega polarnega značaja skušajo molekule vode slediti električnemu polju in pri visokih frekvencah prihaja do rotacije, ki posledično povzroči segrevanje. Tudi ioni, na primer v slani hrani, kadar so izpostavljeni električnemu polju migrirajo in zaradi trkov z molekulami se sprosti toplota (Datta in sod., 2005).

Dielektrične lastnosti materialov lahko definiramo z njihovo relativno permitivnostjo, ki je kompleksna količina in odraža refleksijo elektromagnetnega valovanja (Sosa-Morales in sod., 2010). Relativna permitivnost materiala je definirana kot razmerje električne permitivnosti materiala (ϵ) in električne permitivnosti vakuumu (ϵ_0):

$$\epsilon_r^* = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (9)$$

ϵ_r^* relativna permitivnost materiala
 ϵ permitivnost materiala
 ϵ_0 permitivnost vakuumu ($\epsilon_0=8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m)

Relativna permitivnost ϵ_r^* je sestavljena iz dveh različnih lastnosti, to je dielektrične konstante in faktorja dielektričnih izgub, ki sta brezdimezionalni števili (Datta in sod., 2005).

$$\epsilon_r^* = \epsilon' - j \cdot \epsilon'' \quad (10)$$

ϵ' dielektrična konstanta ali realni del relativne permitivnosti
 ϵ'' relativni faktor dielektričnih izgub ali imaginarni del relativne permitivnosti
 j imaginarna enota ($j = \sqrt{-1}$)

Realni del enačbe, dielektrična konstanta, opisuje zmožnost materiala, da kadar je izpostavljen električnemu polju, shrani energijo in vpliva na distribucijo električnega polja in faznih valov. Imaginarni del, oz. faktor dielektričnih izgub, pa vpliva na absorbcijo in slabljenje energije. Opisuje zmožnost razprševanja energije materiala izpostavljenega električnemu polju, pri čemer se pogosto sprosti tudi toplota (Sosa-Morales in sod., 2010). Pomemben del dielektrične teorije je še tangens kota izgube, δ , ki predstavlja razmerje med relativno dielektrično konstanto in faktorjem dielektričnih izgub (Agilent Technologies, 2000).

$$\tan \delta = \frac{\epsilon'}{\epsilon''} \quad (11)$$

2.4.1 Faktorji, ki vplivajo na dielektrične lastnosti živil

Dielektrične lastnosti so odvisne od: vrste živila (njegove sestave, strukture, gostote, vsebnosti vode, soli in časa skladiščenja), pomembni pa sta še temperatura in frekvenca samega merjenja (Sosa-Morales in sod., 2010).

V živilih je lahko voda v prosti obliki v kapilarnem sistemu ali v vezani obliki absorbirana na površini suhega materiala. Ker je tekoča voda zelo polarna zlahkoto absorbira mikrovalovno energijo zaradi dipolarne rotacije. Na dielektrične lastnosti vplivata obe obliki vode, bolj kot pa je vezana voda povezana s proteini ali ogljikovimi hidrati, nižja sta ϵ' in ϵ'' (Datta in sod., 2005).

Vpliv vsebnosti vlage na ϵ' so preučili Lizhi in sodelavci (2008) na 10 vrstah jedilnih olj iz japonskega področja, ter 6 maščobnih kislinah. Meritve so potekale med 20-45 °C, v frekvenčnem območju 100 Hz-1 MHz in z enako celico, kot smo jo uporabili mi (Agilent 16452A). Najvišje dielektrične vrednosti so bile dosežene pri majhnih frekvencah. To je verjetno posledica orientiranosti molekul olja in električnega polja. ϵ' in ϵ'' sta se postopno zmanjševala z naraščajočo temperaturo meritve, zaradi znižanja viskoznosti, zmanjšanja relaksacijskega časa in zvišanja dipolnega momenta. Znano je tudi, da se viskoznost olj in maščobnih kislin zmanjšuje z naraščanjem nenasičenosti olj. S povečanjem vsebnosti vlage pa so dokazali naraščanje ϵ' , ta učinek pa se je zmanjšal s povečanjem frekvence meritve.

Ahmed in sod. (2007) so raziskovali vpliv soli in temperature na dielektrične lastnosti masla in ugotovili znižanje ϵ' in ϵ'' z naraščajočo temperaturo meritve pri neslanem maslu. Pri slanem maslu pa so se dielektrične lastnosti znižale z povečanjem frekvence in naraščale s povečanjem temperature. Razlog za nastale razlike je povečana ionska prevodnost zaradi prisotne soli.

Vpliv maščobno kislinse sestave olj na dielektrično konstanto so dokazali Rudan-Tasič in Klofutar (1999) na 11 jedilnih oljih slovenskih proizvajalcev, med drugimi tudi na sončničnem in ekstra sončničnem olju. Primerjali so fizikalnokemijske karakteristike ter dielektrične lastnosti in ugotovili manjše naraščanje dielektrične konstante s stopnjo nenasičenosti olja in zniževanje z temperaturo. Povprečna ϵ' olj je znašala 3,0-3,2 pri 25 °C.

2.4.2 Uporaba dielektričnih lastnosti za ocenitev kvalitete živil

S spremljanjem dielektričnih lastnosti lahko ocenimo količino vlage in maščobe, ter tako posredno določimo kvaliteto in potvorjenost živil. Razvijajo se metode za ocenjevanje svežosti mesa in rib, ki temeljijo na spremembi dielektričnih lastnosti v *postmortem* fazi. Prav tako se lahko določi dodatek vode v živila, potvorjenost olj in spreminjanje kvalitete olj med cvrtjem (Datta in sod., 2005).

Z merjenjem dielektričnih lastnosti so Lizhi in sodelavci (2010) ugotavljali pretvorbe oljčnega olja z drugimi rastlinskimi olji, kot so: sojino, koruzno, sezamovo, kanolino in perilino olje. Z dodajanjem drugih olj v oljčno je prišlo do naraščanja dielektrične konstante, sprememba pa je bila linearno sorazmerna s koncentracijo dodanega olja. Z merjenjem dielektrične konstante bi na ta način lahko ugotavljali manj kot 5 % potvorjenost različnih olj.

Inoue in sod. (2002) so opazovali dielektrične lastnosti sojinega olja pri različnih temperaturah cvrtja in ugotovili naraščanje dielektrične konstante s časom segrevanja, ter njeno dobro povezanost s kislinskim številom, relativno viskoznostjo in gostoto.

S spreminjanjem dielektričnih lastnosti glede na primarne in sekundarne oksidacijske produkte so se ukvarjali tudi El-Shami in sod. (1992), ki so starali zmes sončničnega olja in olja bombažnih semen na 180-190 °C. Ugotovili so trend naraščanja dielektrične konstante in faktorja izgub tekom segrevanja.

Na principu dielektrične konstante delujejo tudi oljni senzori FOS (angl. Food oil sensor), ki so zaradi svoje praktičnosti uporabni v manjših laboratorijih ali restavracijah in dajejo hitrejše rezultate, kot klasične analize metode. Merijo spremembo dielektrične konstante glede na svežo maščobo istega tipa. Pri cvrtju narašča delež polarnih molekul, posledično pa se kvaliteta olja slabša in pride do naraščanja dielektrične konstante, ki jo senzor beleži glede na spremembo permitivnosti. Dobra laboratorijska alternativa določanju polarnih snovi z kolonsko kromatografijo pa je tudi jedrska magnetna resonanca (NMR) in bližnje infrardeča spektroskopija (NIR) (Hein in sod., 1998).

Podobno kot FOS, deluje na kapacitivni osnovi tudi merilnik Testo 270, ki se uporablja za določitev obremenjenosti olja med cvrtjem in z njim smo tudi mi pomerili vsebnost celokupnih polarnih snovi (TPM). Rezultat je izražen v % TPM, ki predstavlja masni delež celokupnih polarnih snovi (Testo 270..., 2011).

S pomočjo instrumenta Testo 265 so Guillen in Uriarte (2011) določali čas, pri katerem postane olje pri določeni temperaturi cvrtja, zdravstveno nespremenljivo. To je, ko znaša masni delež celokupnih polarnih snovi nad 25 %. V večjem številu vzorcev olj so z NMR določili molski delež acilnih skupin nasičenih kislin ter oleinske, linolne in linoleinske kisline in z instrumentom Testo 265 pomerili delež polarnih komponent. Dokazali so, da se čas uporabnosti posameznega olja pri cvrtju lahko napove s pomočjo enačb.

3 MATERIALI IN METODE

3.1 MATERIALI

3.1.1 Vzorci olja

V naši raziskavi smo uporabili dva vzorca sončničnega olja z različno maščobno kislinsko sestavo, ki smo ju kupili v lokalni trgovini.

Prvi vzorec olja, ki smo mu dali oznako A, je sončnično olje Cekin s povprečno energijsko vrednostjo na 100 g izdelka 3700 kJ oziroma 900 kcal. V 100g vsebuje 12 g nasičenih maščobnih kislin, 26 g enkrat nenasičenih maščobnih kislin, 62 g večkrat nenasičenih maščobnih kislin in 50 mg vitamina E.

Drugi vzorec olja B, pa je sončnično olje Gea z visoko vsebnostjo oleinske kisline. Deklarirana povprečna hranilna vrednost tega olja na 100 g znaša 3700 kJ oziroma 900 kcal, vsebuje pa 10 g nenasičenih maščobnih kislin, 77 g enkrat nenasičenih maščobnih kislin in 13 g večkrat nenasičenih maščobnih kislin.

Oba vzorca olja ne vsebujeta prehranskih vlaknin, natrija, beljakovin in ogljikovih hidratov.

3.1.2 Reagenti, pribor in aparature

Za inkubacijo vzorcev smo olje prelili v dvajset erlenmajeric znamke Duran, z notranjim premerom 30 mm in jih inkubirali v sušilniku (Mommert VO 400). Vzorce olj in kemikalije smo tehtali na tehtnicah Mettler Toledo, model PB 3002-S (max 3100 g, min 0,5 g) in AT 201 (max 205 g, min 1 mg).

Pri določanju peroksidnega števila ($P\check{S}$) smo vzorce natehtali v 250 mL erlenmajeric, dodali očetno kislino (Merck) in kloroform (Merck) razmerju 3:2 in nasičeno raztopino kalijevega jodida (Merck). Za titracijo smo uporabili natrijev tiosulfat ($c=0,10303$ mol/L) in škrobovico.

Pri določanju konjugiranih dienov in trienov, ter p -anizidinske vrednosti (p -AV) smo absorbanco pomerili s spektrofotometrom Chemas (model 8453), ki je povezan z računalnikom HP (G1030). Natehtanim vzorcev v eprugetah smo z avtomatsko pipeto dodali cikloheksan (Fluka), ter z mešalnikom premešali. Za pripravo reagenta p -anizidina smo uporabili p -anizidin (Fluka) raztopljen v ledocetni kislini (Merck). Vzorce olja smo natehtali v 25,0 mL bučke in dopolnili z heksanom (Merck). Nadalje smo vzorce še redčili v 10 mL eprugetah.

Pred merjenjem dielektričnih lastnosti smo vzorcem olj odstranili vodo s sušenjem v vakuumskem sušilniku (VO 400) s črpalko Neuberger ($P_{\max}=1,0$ bar) in sicer tako, da smo olje prelili preko brezvodnega natrijevega sulfata (Merck) na nagubanem filter papirju (388 Sartorius grade) položenega v lij na čašo. Dielektrične lastnosti smo merili s pomočjo LCR merilnika Agilent (E 4980A, Agilent Technologies, California, USA), povezanega kablom

(Agilent 6452-61601) na celico (16452A, Agilent). Meritve smo shranjevali na računalniku HP Compaq, termostataranje vzorcev pa smo izvedli v termostatu Fluke (7320 High precision bath), z območjem -20 do 150 °C in temperaturo dodatno kontrolirali z referenčnim termometrom Fluke (1502 A). Celico smo med meritvami čistili z 2-propanolom in acetonom, ter z uporabo čistila (HI 7077, Hanna instruments) in na koncu popivnali s stančevino.

Celokupne polarne snovi smo merili z instrumentom Testo 270 (tovarniška kalibracija ± 2 % TPM), ki smo ga umerili z referenčnim oljem (0554 2650).

Dodatna oprema in material, ki smo jih uporabili so še: stojalo za epruvete, pokrovčki za epruvete in erlenmajerice, merilni valj, štoparica, avtomatske pipete z nastavki, alu folija, magnetna mešala, spatula, plastične kapalke, tehtiči, etanol in sušilnik pri čiščenju kivet, čaše, mineralno olje, destilirana voda.

3.2 METODE

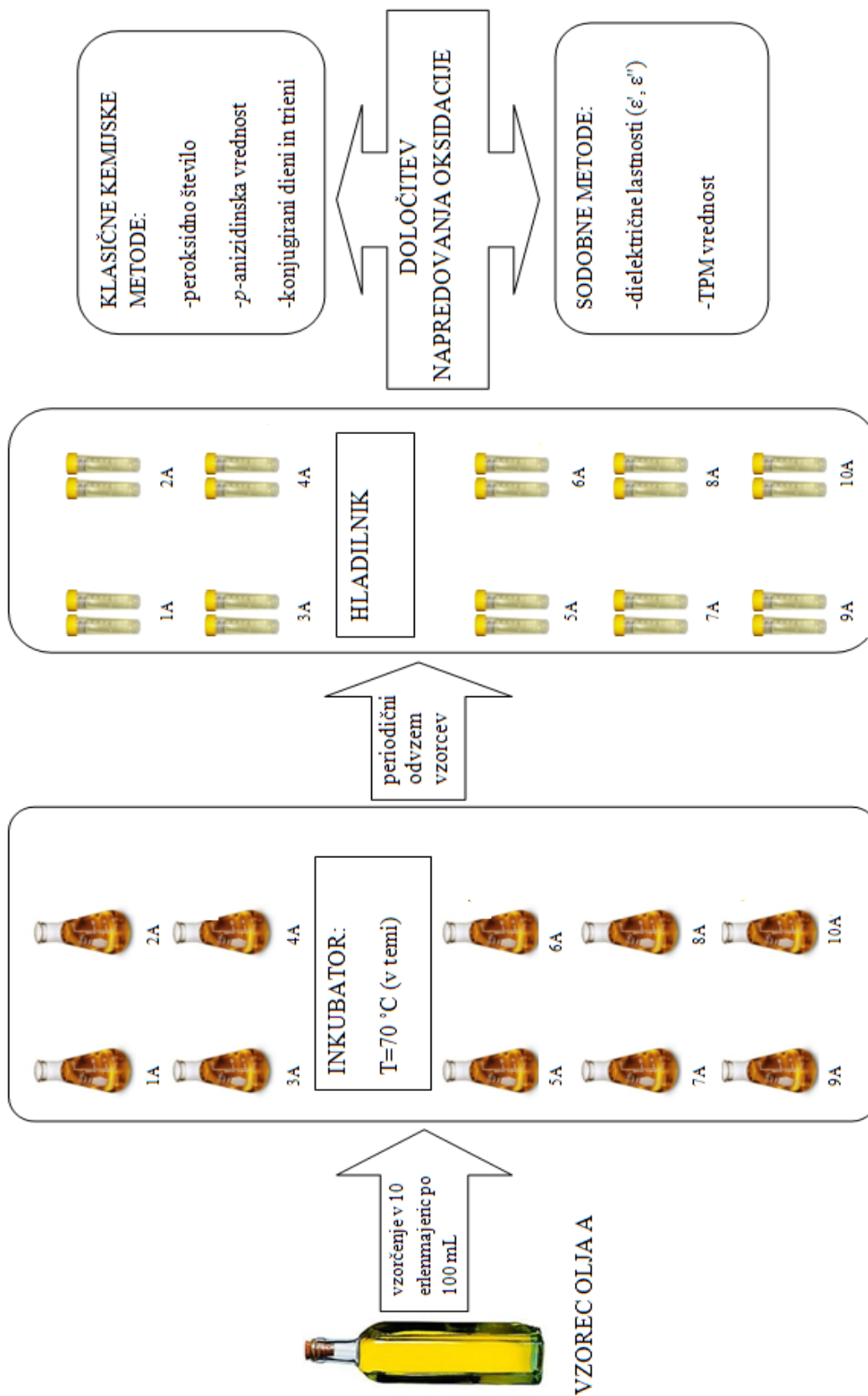
3.2.1 Shematski prikaz inkubacije in vzorčenja olj

Vsakega od obeh vzorcev olja smo razdelili v deset 100 mL erlenmajeric z obrusom tako, da smo v vsako nalili 100 mL vzorca olja. Odprte erlenmajerice smo nato postavili v temo v inkubator, na 70 °C. Celoten čas inkubacije je bilo obdobje 31 dni, vzorce pa smo periodično odvezemali v časovnem razmiku tri do štiri dni. Po odvzemu iz inkubatorja smo olje ohladili in prelili v po 2 plastični epruveti z volumnom 50 mL. Epruvete smo shranili zaprte v hladilniku in vsebino pred analiziranjem segreli na sobno temperaturo. V preglednici 4 je prikazan časovni pregled odvezemanja iz inkubatorja ter ustrezne oznake posameznih vzorcev olja A in B.

Preglednica 4: Časovni prikaz inkubacije in vzorčenja olja A in B.

Število dni v inkubatorju	Sončnično olje Cekin (vzorec A)	Sončnično olje Gea z visoko vsebnostjo oleinske kisline (vzorec B)
0	/	/
3	1A	1B
7	2A	2B
10	3A	3B
14	4A	4B
17	5A	5B
21	6A	6B
24	7A	7B
28	8A	8B
31	9A	9B

Na sliki 3 je prikazan postopek vzorčenja in inkubacije sončničnega olja A, isti postopek pa je bil uporabljen tudi pri olju B.



Slika 4: Shematski potek vzorčenja, inkubacije, shranjevanja in analiz vzorcev olja A.

3.2.2 Klasične metode določanja oksidacije maščob

3.2.2.1 Metoda za določanje peroksidnega števila

Metoda določanja je povzeta iz IUPAC Method 2.501 (Paquot in Hautfenne, 1987). Peroksidno število je definirano kot množina O₂ v kilogramu maščobe (mmol O₂/kg).

a) Postopek

5 g olja smo odtehtali v 250 mL erlenmajerico in mu dodali 25,0 mL zmesi očetne kisline in kloroforma v razmerju 3:2. Zmes smo mešali dokler se olje ni popolnoma raztopilo in zatem dodali še 1,0 mL nasičene raztopine kalijevega jodida. Nato smo dobro premešali in erlenmajerico postavili v temo za točno dve minuti. Sproščeni jod smo titrirali s standardno raztopino natrijevega tiosulfata, s koncentracijo 0,10303 mol/L, ob prisotnosti škrobovice. Vzoredno smo opravili še slepi preizkus, pri katerem smo ravnali po enakem postopku le, da nismo uporabili olja.

b) Peroksidno število smo izračunali iz zveze:

$$P\check{S} = \frac{(V_{Na_2S_2O_3} - V_{Na_2S_2O_3(s.v.)}) \cdot c_{Na_2S_2O_3} \cdot 10^3}{2 \cdot m} \quad (12)$$

$P\check{S}$	..... peroksidno število izraženo v mmol O ₂ /kg
$V_{Na_2S_2O_3}$	..... poraba natrijevega tiosulfata za titracijo vzorca (mL)
$V_{Na_2S_2O_3(s.v.)}$	..... poraba natrijevega tiosulfata za titracijo slepega vzorca (mL)
$c_{Na_2S_2O_3}$	..... koncentracija natrijevega tiosulfata (mol/L)
m	..... masa vzorca (g)

Postopek smo izvedli v treh paralelkah, povprečna relativna napaka določitve je bila pod 1 %.

3.2.2.2 Metoda za določanje *p*-anizidinskega števila

Metoda določanja je povzeta po IUPAC Method 2.504 (Paquot in Hautfenne, 1987). *p*-anizidinska vrednost je definirana kot 100-kratna absorbanca raztopine pomerjene pri 350 nm, v celici široki 1 cm in je posledica reakcije 1 g maščobe v 100 mL mešanici topila.

a) Postopek

Priprava reagenta *p*-anizidina: 125,0 mg *p*-anizidina smo odtehtali v 50,0 mL merilno bučko in dopolnili do oznake z ledocetno kislino. Bučko smo dali v ultrazvočno kopel dokler se reagent ni popolnoma raztopil in jo z alu-folijo zaščitili pred svetlobo.

V 25,0 mL bučko smo natehtali 2-3 g olja, dopolnili do oznake s heksanom in dobro premešali. Absorbanco (A_b) smo izmerili pri 350 nm in kot slepi vzorec uporabili čisto topilo.

V prvo 10 mL epruveto smo odpipetirali 5,0 mL raztopine olja in heksana, v drugo 10 mL epruveto pa 5,0 mL čistega heksana. V obe epruveti smo nato dodali še 1,0 mL reagenta *p*-anizidina in premešali. Po 10 minutah smo izmerili absorbanco pri 350 nm vsebine v prvi epruveti proti slepemu vzorcu, ki je vsebina druge epruvete (A_s).

b) *p*-AV smo izračunali iz zveze:

$$p\text{-AV} = \frac{25 \cdot (1,2 \cdot A_s - A_b)}{m \text{ olja}} \quad (13)$$

<i>p</i> -AV	..... <i>para</i> -anizidinska vrednost
A_s	..... absorbanca vzorca pri 350 nm z dodanim <i>p</i> -anazidinom
A_b	..... absorbanca vzorca pri 350 nm brez dodatka <i>p</i> -anazidina
m_{olja}}	..... masa vzorca olja (g)

p-anizidinsko vrednost smo določali vsakemu vzorcu v treh paralelkah, pri čemer je zanašala relativna napaka določitve okoli 1 %.

3.2.2.3 Metoda za določanje konjugiranih dienov in trienov

Metoda za določanje konjugiranih dienov in trienov je povzeta po standardu ISO 3656. Konjugirani dieni absorbirajo pri valovni dolžini 232 nm in so pokazatelji primarnih produktov oksidacije. Konjugirane triene pa merimo v absorpcijskem območju okoli 268 nm in so pokazatelji sekundarnih produktov oksidacije.

a) Postopek

6,5 μ L (približno 5 mg) vzorca olja smo odpipetirali v epruveto in dodali 5,0 mL cikloheksana. Epruveto smo dobro premešali in izmerili absorbanco pri 232 nm za konjugirane diene in pri 268 nm za konjugirane triene.

b) Nastanek konjugiranih dienov oz. konjugiranih trienov smo izrazili z naslednjo relacijo:

$$E_{icm}^{1\%} = \frac{A}{\frac{m \text{ olja}}{V \text{ cikloheksana}} \cdot 100} \quad (14)$$

Če izmerjena absorbanca ni bila v območju od 0,2 do 0,8 smo meritev ponovili z razredčenim vzorcem. Redčili smo s cikloheksanom in pri izračunih upoštevali še faktor redčitve:

$$E_{icm}^{1\%} = \frac{A}{\frac{m \text{ olja}}{V \text{ cikloheksana}} \cdot 100} \cdot R_f \quad (15)$$

$E_{1cm}^{1\%}$	..... absorbanca pri karakteristični valovni dolžini za 1 % raztopino olja (koncentracija olja = 1g olja/100 mL raztopine), izmerjena v 1 cm kiveti
A	..... absorbanca
m _{olja}	..... masa olja (mg)
V _{cikloheksana}	..... volumen cikloheksana (5 mL)
R _f	..... faktor razredčitve

Konjugirane diene in konjugirane triene smo merili pri vsakem vzorcu v treh paralelkah in povprečna relativna napaka je znašala okoli 1 %.

3.2.3 Določanje dielektričnih lastnosti

3.2.3.1 Priprava olja (sušenje)

Pred merjenjem dielektrične konstante je bilo potrebno vzorce ustrezno pripraviti s tem preprečiti napake meritev zaradi vsebnosti vode. Voda bi namreč vplivala na dielektrično konstanto in faktor dielektričnih izgub, saj bi bila oba večja. Postopek smo izvedli tako, da smo v stekleni lij položili nazobčan filter papir in dodali približno žličko brezvodnega natrijevega sulfata (Na₂SO₄). Vzorec olja smo nato prelili preko natrijevega sulfata in dali v vakuumski sušilnik. Vzorec se je skoraj v celoti prefiltriral v 30 minutah, pri 20 °C in pri tlaku 100 milibarov.

Nizko temperaturo v vakuumskem sušilniku smo izbrali, da smo se izognili napredovanju oksidacije olj in tako nismo vplivali na vrednosti primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov. Po končanem sušenju smo vzorec shranili v eksikatorju do izvedbe meritev. V primeru, da smo vzorec analizirali šele naslednji dan, smo ga shranili v vakuumu in s tem dodatno preprečili dostop vlage.

Instrument za merjenje dielektričnih lastnosti je prikazan na sliki 5. Dielektrične lastnosti olj smo določali z kapacitivno metodo. Uporabili smo celico za merjenje dielektričnih lastnosti tekočih vzorcev (Agilent, 16452A, Agilent Technologies, California, USA) in LCR merilnik (Agilent, E4980A, Agilent Technologies, California, USA).

3.2.3.2 Sistem LCR meter Agilent E4980A s celico 16452A



Slika 5: Fotografija računalnika, sistema celice, merilnika za merjenje impedance, termostata in uporabnega termometra.

Celica (Agilent, 16452A) ima dimenzije $85 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \times 37 \text{ mm}$ in tehta 1,4 kg. Zlitina iz katere je narejeno ohišje, vsebuje 54 % železa, 17 % kobalta in 29 % niklja. Izolacija je keramična iz aluminijevega oksida, ki je z ohišjem spojen preko zlitine srebra in bakra, ter zlata in bakra. Povezana je z kovinskim distančnikom, ki je odvisno od merjenega vzorca različne debeline, tesnila pa so iz viton gume. Sestavni deli celice so prikazani na sliki 7. Vzorec se napolni z injekcijsko iglo med dve ploščati vzporedni elektrodi s površino celice 38 mm, ki predstavljata kondenzator z določeno kapacitivnostjo.

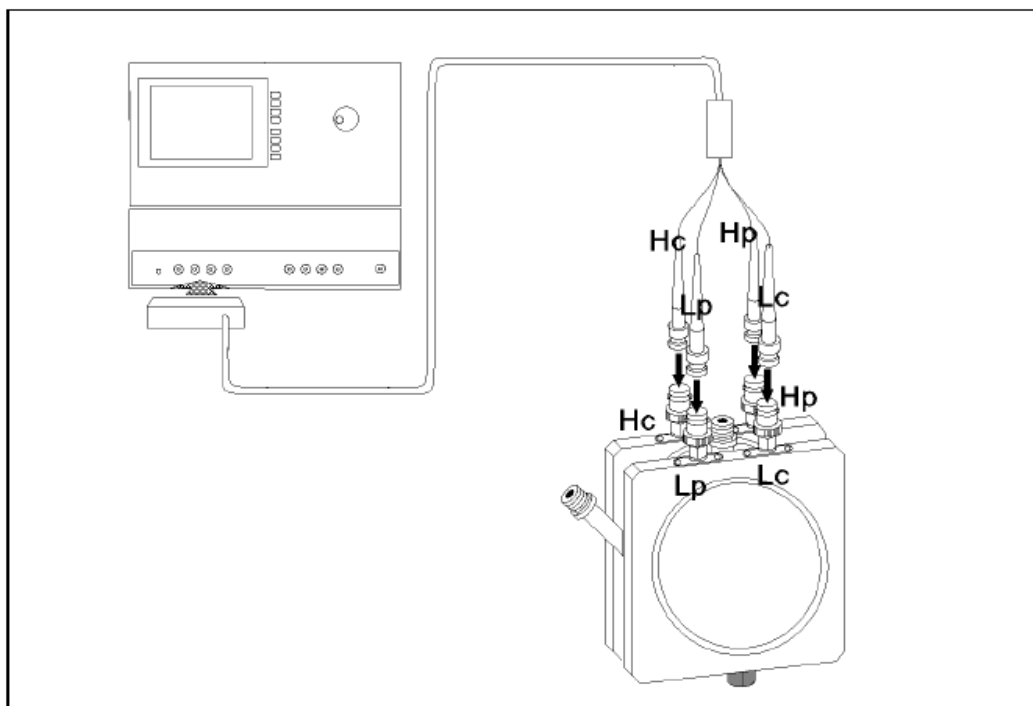
S povezovalnim kablom (Agilent 6452-61601) dolžine 1m, smo celico povezali preko SMA-BNC adapterjev z merilnikom za merjenje impedance. Merjenje poteka pri napetosti do 30 V, odvisno od merilnika, pri frekvencah v območju od 20 Hz do 30 MHz. Temperaturno območje pa se giblje med $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ in $+125 \text{ }^\circ\text{C}$.

LCR meter (Agilent, E4980A) omogoča merjenje v območju napetosti od $100 \mu\text{V}$ do 2 V in toka v območju od $1 \mu\text{A}$ do 20 mA. Shema vezave celice z LCR metrom je podana na sliki 6. Instrument podaja vrednosti dveh parametrov, za bolj primarnega - bolj natančnega smo izbrali kapacitivnost (C_p) in za sekundarnega- manj natančnega upornost (R_p). Pri meritvah je tok dosegel vrednosti večje od 1 mA, merilna napetost pa je znašala 1 V (Agilent Technologies, 2000).

Meritve smo izvajali v frekvenčnem območju od 0,1 kHz do 2000 kHz. Vsak vzorec olja smo pomerili trikrat, oziroma kasneje zaradi dobre ponovljivosti dvakrat. Za izračun dielektričnih lastnosti pa smo uporabili povprečje teh meritev.

Kapacitivnost in upornost smo izmerili pri 52 frekvencah, po naslednjih korakih:

- i. v območju od 0,1 kHz do 1 kHz: v korakih po 0,1 kHz
- ii. v območju od 1 kHz do 10 kHz: v korakih po 1 kHz
- iii. v območju od 10 kHz do 100 kHz: v korakih po 10 kHz in
- iv. v območju od 100 kHz do 2000 kHz: v korakih po 100 kHz



Slika 6: Shema vezave celice (Agilent, 16452A) z LCR merilnikom (Agilent, E4980A) (Agilent Technologies, 2000).

Zaradi boljše primerljivosti impedančnih parametrov z literaturo smo se odločili za merjenje vzorcev pri temperaturah 20, 25, 40 in 50 °C. Vzorce smo termostatirali v termostatski kopeli (Fluke 7230) s platinastim uporovnim termometrom (Fluke 1502A), ki ima merilno območje od -200 °C do 420 °C. Za merjenje temperature pa smo uporabili referenčni digitalni termometer z natančnostjo $\pm 0,005$ °C (Fluke 5627-6-D). Temperaturo na termostatu smo nastavljali ročno in pri tem upoštevali vrednosti na digitalnem termometru. Meritve smo izvedli šele, ko je bila temperatura na digitalnem termometru konstantna 15 minut, glede na natančnost $\pm 0,005$ °C, okoli zahtevane vrednosti. Tako je npr. meritev pri temperaturi 25 °C lahko variirala med 24,995 in 25,005 °C.

3.2.3.3 Izračun dielektričnih parametrov iz meritev kapacitivnosti in upornosti

Dielektrično konstanto ϵ' in faktor dielektričnih izgub ϵ'' smo izračunali iz naslednjih enačb 16 in 17 (Agilent Technologies, 2000):

$$\epsilon' = \alpha \cdot \frac{Cp}{Co} \quad (16)$$

- ε' dielektrična konstanta maščobe
 α korekcijski faktor
 C_p kapacitivnost maščobe (pF)
 C_o kapacitivnost zraka (pF)

$$\varepsilon'' = \frac{\alpha}{C_o \cdot R_p \cdot \omega} \quad (17)$$

- ε'' faktor dielektričnih izgub
 R_p upornost maščobe
 ω kotna frekvenca ($\omega=2\pi \cdot f$)

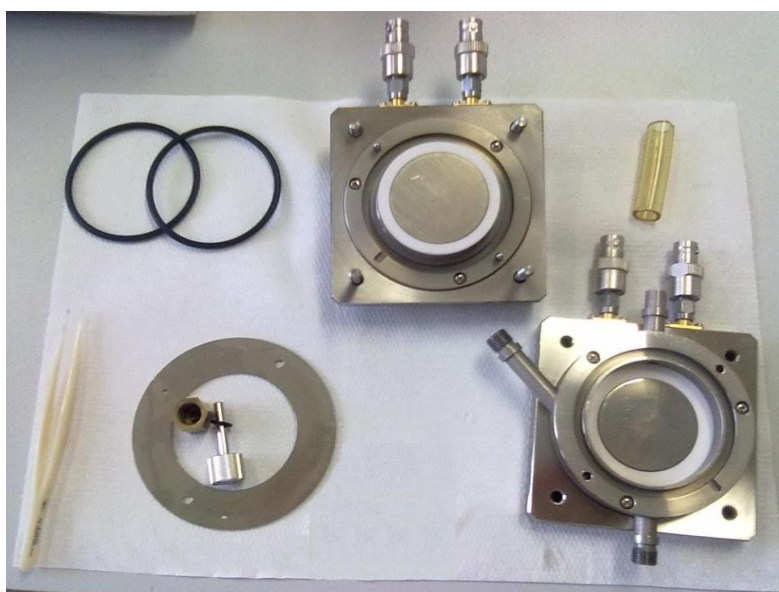
Na dielektrično konstanto vpliva korekcijski faktor α , ki je za zrak enak 1 in za vzorca olja A in B od 1,019 do 1,020. Izračunan je iz naslednje korelacije (Agilent Technologies, 2000):

$$\alpha = \frac{100 \cdot |\varepsilon'_{rm}|}{97,0442 \cdot |\varepsilon'_{rm}| + 2,9558} \quad (18)$$

$$|\varepsilon'_{rm}| = \sqrt{\frac{C_p^2}{C_o^2} + \frac{1}{(\omega C_o R_p)^2}} \quad (19)$$

3.2.3.4 Čiščenje celice

Celico smo čistili vsakodnevno po končanem merjenju in med meritvami za posamezne vzorce. Pri merjenju več paralelek istega vzorca smo olje le odlili skozi odprtino za polnjenje in ga nadomestili z naslednjo paralelko.



Slika 7: Fotografija razstavljenе celice na kateri so vidni: kovinski distančnik, čepa za zapiranje in tesnila.

Čiščenje celice smo izvedli tako, da smo celico najprej vzeli iz termostata, jo s papirnato brisačo rahlo popivnali, položili na stojalo in odvili vse štiri priključke. Skozi odprtino za polnjenje smo v čašo izlili večino olja in celico napolnili z 3 mL sredstva za čiščenje elektrod (Hanna Instruments, HI 7077), ki je učinkoval 3 minute. Čiščenje z sredstvom smo še enkrat ponovili in nato še sedemkrat sprali z destilirano vodo. Nato smo celico odprli, odstranili kovinski distančnik, odvili čep ventila za iztok tekočine in s plastično pinceto odstranili obe tesnili. Vse dele celice smo sprali še trikrat z 2-propanolom in acetonom, vmes nežno popivnali s stančevino in na koncu posušili s sušilnikom za lase. Očiščeno celico smo čez noč pustili odprto, kot je prikazano na sliki 7, da se je posušila na zraku.

3.2.3.5 Statistična obdelava podatkov

Rezultate dielektričnih meritev smo obdelali na osebem računalniku s programsko opremo Microsoft Office Excel 2007. Vzorcem smo izračunali srednje vrednosti (aritmetično sredino) in napako aritmetične določitve (standardni odklon). Standardni odklon je mera variabilnosti, meri kako so vrednosti razpršene in je definiran kot kvadratni koren variance (Košmelj, 2007).

Deklarirana napaka dielektrične konstante je odvisna od temperature in frekvence merjenja. Pri 20-30 °C napaka v območju frekvence od 100 Hz do 2 MHz narašča do 0,5 %. Pri 40-50 °C pa znaša okrog 0,4 % do frekvence 100 Hz in narašča do 0,8 % pri 2 MHz. (Prevc, 2011). Pri faktorju izgub pa so napake še večje, saj je bila upornost sekundarni parameter merjenja.

3.2.4 Merjenje z instrumentom Testo 270

Merjenje polarnih snovi v olju z oljnim senzorjem predstavlja hitrejšo metodo od kolonske kromatografije. Med cvrtjem se olja in masti termično ter oksidacijsko razgrajujejo in s tem narašča vsebnost polarnih spojin. Posledično prihaja do višanja dielektrične konstante, kar pomeni poslabšanje kvalitete olj (Hein in sod., 1998).

Z instrumentom Testo 270 lahko hitro preverimo kvaliteto olja za cvrtje. Z njim določamo celokupno vsebnost polarnih komponent, kar označimo kot (%) TPM vrednost. Deluje na osnovi kapacitivnosti in vzporedno meri tudi temperaturo.



Slika 8: Merilnik Testo 270 z zapestnim trakom in referenčnim oljem v shranjevalnem kovčku.

TPM vrednost daje informacijo o »iztrošenosti« olja zaradi vpliva visokih temperatur. Merjenje je omogočeno v območju minimalno 40 °C in maksimalno 210 °C, olje pa mora biti čisto in brez prisotnosti aditivov. Pred samim merjenjem je priporočljivo umeriti senzor, kar lahko naredimo z referenčnim oljem (natančnost $\pm 2,5$ %) ali z enostavno testno funkcijo v olju za cvrtje (natančnost ± 3 %) (Testo 270..., 2011).

3.2.4.1 Umerjanje senzorja

Stekleničko referenčnega olja, ki je bila priložena k merilniku, smo termostatirali v vodni kopeli, dokler ni bila dosežena konstantna temperatura 50 °C. V stekleničko smo nato potopili senzor in naravnali instrument na specificirano vrednost referenčnega olja, ki znaša 4 % TPM.

3.2.4.2 Vsebnost celokupnih polarnih komponent (TPM)

V kopeli z silikonskim oljem smo segreli vzorce rastlinskih olj na 105 °C. Meritve TPM smo izvedli v štirih ponovitvah.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 REZULTATI KLASIČNIH KEMIJSKIH METOD DOLOČITVE OKSIDACIJE OLJ

V preglednici 5 so zbrani rezultati kemijskih analiz vzorcev olja A in B v odvisnosti od časa inkubacije, v temi pri 70 °C. Olje B, ki vsebuje več oleinske kisline, ima primarne in sekundarne oksidacijske produkte pri vseh pogojih inkubacije nižje.

Preglednica 5: Rezultati kemijskih analiz vzorcev olja 1A do 9A in 1B do 9B v odvisnosti od časa inkubacije v temi pri temperaturi 70 °C.

oznaka vzorca	primarni oksidacijski produkti			sekundarni oksidacijski produkti	
	inkubacija/ (št. dni)	peroksidno število/ (mmol O ₂ /kg)	konjugirani dieni E _{232 nm}	<i>p</i> -anizidinska vrednost	konjugirani trieni E _{268 nm}
1A	3	15,59 ± 0,24	7,53 ± 0,48	6,39 ± 0,22	3,58 ± 0,39
2A	7	44,02 ± 0,06	12,43 ± 0,58	10,76 ± 0,49	3,64 ± 0,30
3A	10	56,35 ± 0,73	18,76 ± 0,37	20,42 ± 0,73	3,07 ± 0,56
4A	14	95,71 ± 0,17	32,25 ± 0,23	31,81 ± 0,56	2,90 ± 0,30
5A	17	98,89 ± 0,23	34,84 ± 0,28	32,25 ± 0,39	3,12 ± 0,58
6A	21	118,36 ± 0,08	39,64 ± 0,19	32,44 ± 0,19	4,72 ± 0,49
7A	24	135,69 ± 0,06	45,05 ± 0,72	32,81 ± 0,66	4,94 ± 0,84
8A	28	136,77 ± 0,13	46,20 ± 0,48	33,68 ± 0,72	5,84 ± 0,85
9A	31	130,21 ± 0,05	42,81 ± 0,72	31,19 ± 0,39	5,45 ± 0,87
1B	3	4,22 ± 0,14	2,78 ± 0,29	2,34 ± 0,76	0,83 ± 0,31
2B	7	10,62 ± 0,11	4,28 ± 0,20	2,56 ± 0,46	0,85 ± 0,71
3B	10	15,64 ± 0,79	5,90 ± 0,41	3,34 ± 0,57	0,77 ± 0,81
4B	14	24,34 ± 0,55	7,83 ± 0,57	3,73 ± 0,47	0,74 ± 0,62
5B	17	32,63 ± 0,70	10,71 ± 0,66	4,18 ± 0,40	0,90 ± 0,40
6B	21	42,97 ± 0,06	11,15 ± 0,52	6,98 ± 0,53	0,91 ± 0,37
7B	24	74,96 ± 0,10	14,17 ± 0,21	24,31 ± 0,13	0,98 ± 0,28
8B	28	81,18 ± 0,04	14,50 ± 0,81	29,41 ± 0,49	1,20 ± 0,90
9B	31	76,57 ± 0,06	13,55 ± 0,9	29,11 ± 0,24	1,20 ± 0,52

Peroksidno število pri obeh vzorcih olja s časom inkubacije narašča. Počasnejše narašča *PŠ* pri vzorcu B, kar je posledica različne maščobno kislinske sestave. Tekom oksidacije *PŠ* narašča pri obeh vzorcih do 28. dne, ko je dosežen maksimum, ki znaša pri vzorcu 8A 136,8 mmol O₂/kg in pri 8B 81,18 mmol O₂/kg. Zadnji, 31. dan inkubacije pa opazimo pri vzorcih 9A in 9B znižanje vrednosti.

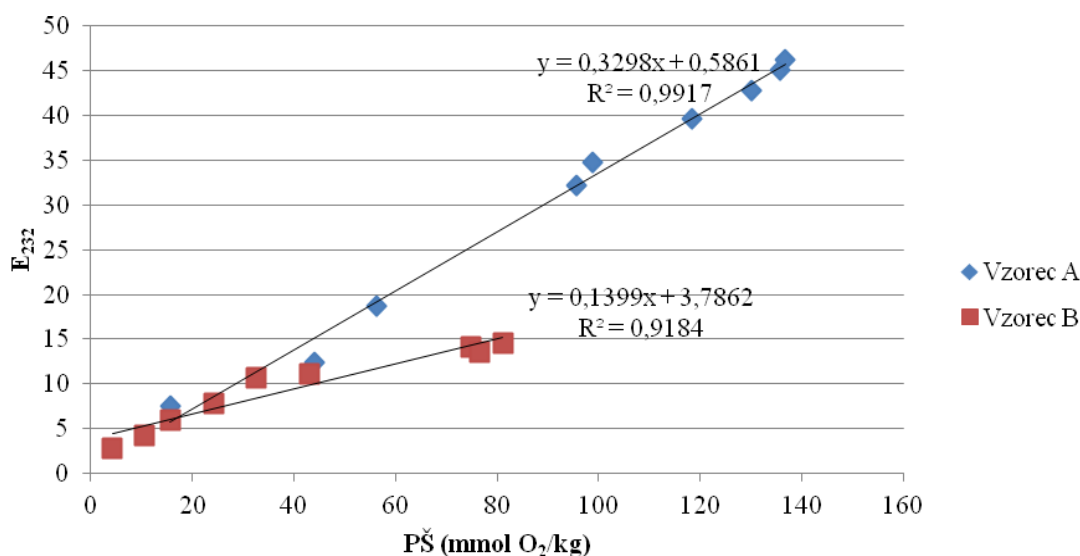
Glede na pravilnik o kakovosti rastlinskih olj, rastlinskih masti in majonez (2003), bi bilo za uživanje primerno le še olje 1B po treh dneh inkubacije, ko ne presega zakonsko določene meje peroksidnega števila 7 mmol O₂/kg za rafinirana olja.

Dobljene rezultate *PŠ* lahko primerjamo z literaturo, kjer so Marmesat in sod. (2009), v časovnem obsegu 178 ur pri 40 °C, starali dve različni sončnični olji. Tudi v njihovem delu se je *PŠ* s časom povečevalo, opazna pa je tudi razlika pri olju z višjo vsebnostjo oleinske

kislina, kjer so dobili nižje vrednosti. Če primerjamo z našimi rezultati, ki smo jih pridobili na 3. in 7. dan, vidimo, da je PS pri nas višje, kar lahko pojasnimo z izpostavljenostjo naših vzorcev višji temperaturi in z razliko v sestavi olj.

Vsebnost konjugiranih dienov, ki smo jo izrazili kot $E_{cm}^{1\%}$ pri 232 nm kaže podoben trend kot PS . Pri vzorcih A so vrednosti višje, kot pri vzorcih B, na 28. dan opazovanja je pri obeh oljih dosežena največja vrednost, ki pa se 31. dan zopet zniža.

Marmesat in sod. (2009) so dokazali dobro povezavo med peroksidnim številom in konjugiranimi dieni z linearno regresijo. Na sliki 9 je na osnovi podatkov iz tabele 5 prikazana odvisnost E_{232} od PS za vzorca olja A in B. S pomočjo linearne regresijske analize smo določili naklon premic. Kot vidimo iz slike, je nižje premica za olje B, enako je bilo tudi v zgoraj omenjeni študiji, le da so njihovi nakloni premic manjši od naših. Ugotovili pa so, da bi za indirektno ugotavljanje hidroperoksidov z metodo konjugiranih dienov, bilo potrebno uvesti kalibracijske krivulje (PS v odvisnosti od konjugiranih dienov) in le-te bi dale boljše rezultate pri oljih z različno stopnjo nenasičenosti. V primerjavi z oljem B, opazimo za olje A veliko boljše ujemanje, saj znaša ustreznost prilaganja $r^2 = 0,9917$, za vzorec oleinskega olja v zgoraj omenjeni raziskavi pa je bil $r^2 = 0,9977$.



Slika 9: Odvisnost konjugiranih dienov (E_{232}) od peroksidnega števila (PS) za vzorca olja A in B.

Kot vidimo v preglednici 5, se p -AV intenzivno zvišuje prvih 14 dni oksidacije, nato počasneje narašča do 28. dne inkubacije in zadnji dan zasledimo rahlo znižanje. Skozi celoten čas analiziranja so vrednosti pri olju A višje od vrednosti olja B.

Vrednost E_{268} za konjugirane triene, ki je bila določena spektrofotometrično pri valovni dolžini 268 nm, je za olje A skozi celoten čas opazovanja višja kot pri olju B. Pri obeh vzorcih lahko opazimo trend naraščanja. Vendar se vrednosti za olje A v prvi polovici inkubacijskega obdobja (do 17. dne) med seboj statistično značilno ne ločijo, saj so v okviru eksperimentalne napake enake, za tem je 17. dan določeno zvečanje vrednosti E_{268} .

ki do 28. dne v okviru eksperimentalne napake ostane enaka. Kot vidimo v preglednici 5, se vrednosti E_{268} za olje B v celotnem inkubacijskem obdobju med seboj statistično značilno ne razlikujejo.

4.2 REZULTATI MERITEV INSTRUMENTA TESTO 270

Z instrumentom Testo 270 smo pomerili vsebnost celokupnih polarnih snovi v vzorcih 1A do 9A in vzorcih 1B do 9B (temperatura meritve je znašala 112 °C). Rezultati meritev s standardno deviacijo so predstavljeni v preglednici 6.

Preglednica 6: Vsebnost celokupnih polarnih snovi (TPM) v vzorcih 1A do 9A in 1B do 9B, v odvisnosti od časa inkubacije v temi, pri temperaturi 70 °C.

inkubacija/ (število dni)	oznaka vzorca	TPM/ (%)	oznaka vzorca	TPM/ (%)
3	1A	12,0 ± 0,0	1B	3,9 ± 0,2
7	2A	14,0 ± 0,0	2B	4,1 ± 0,2
10	3A	16,6 ± 0,2	3B	4,5 ± 0,0
14	4A	25,6 ± 0,2	4B	4,9 ± 0,2
17	5A	27,1 ± 0,2	5B	5,6 ± 0,2
21	6A	34,7 ± 0,3	6B	6,9 ± 0,2
24	7A	43,9 ± 0,2	7B	11,6 ± 0,2
28	8A	45,9 ± 0,2	8B	13,5 ± 0,0
31	9A	47,3 ± 0,3	9B	16,8 ± 0,3

Tekom inkubacije opazimo naraščanje vsebnosti polarnih snovi. Oleinski tip sončničnega olja B, ima po treh dneh oksidacije TPM vrednost 3,9 %, medtem ko je pri vzorcu A ta približno trikrat višja. Najbolj intenzivno povečanje polarnih snovi pa opazimo pri obeh oljih med 21. in 24. dnev oksidacije. Končna vrednost TPM pri olju B doseže vrednost primerljivo z vzorcem 3A, ki je bil izpostavljen oksidaciji deset dni.

Naraščanje polarnih snovi v sončničnem olju, podobnemu našemu vzorcu A, so spremljali tudi Guillen in Uriarte (2011). Olje so segrevali na 190 °C in po 26 urah določili v vzorcu masni delež polarnih snovi, ki je znašal 25 %. Nad to vrednostjo olje ni več primerno za cvrtje, kar je pri nas v sončničnem olju A nastopilo po 14 dneh inkubacije pri 70 °C. V olju B pa ta vrednost ni bila dosežena.

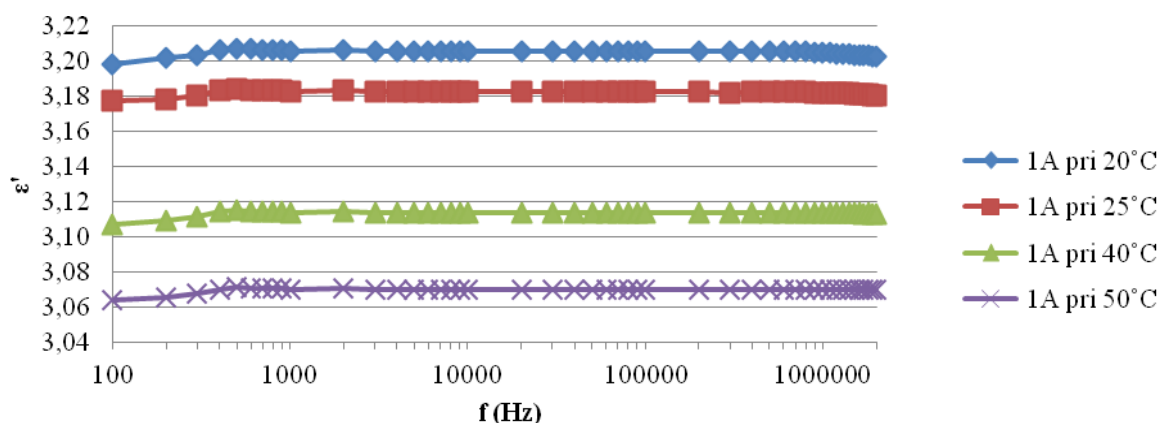
4.3 DIELEKTRIČNA KONSTANTA

4.3.1 Dielektrična konstanta vzorcev olja A

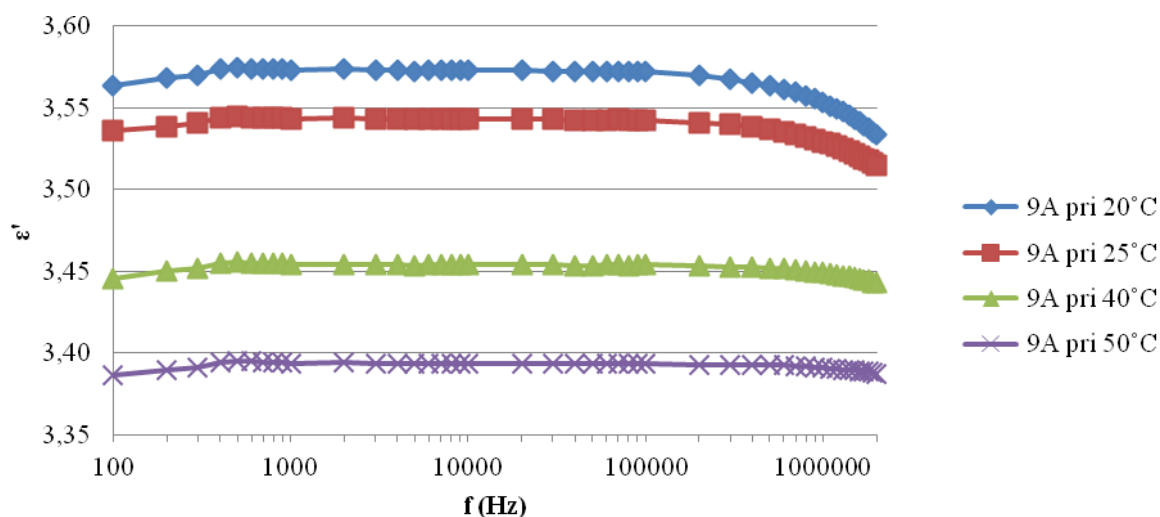
Na slikah 10 in 11 je predstavljena dielektrična konstanta vzorca olja A in sicer za 3. dan (vzorec 1A) in za zadnji, 31. dan inkubacije (vzorec 9A). Njihove povprečne vrednosti treh paralelk vsakega vzorca in standardna deviacija so podane v prilogah od B do E.

Frekvenčno območje obsega od 100 Hz do 2 MHz in je zaradi boljše preglednosti prikazano v logaritemski skali.

Dielektrična konstanta je odvisna od temperature, tako so pri 1A in 9A najvišje vrednosti pri temperaturi meritve 20 °C in se s povešanjem temperature znižujejo. Odvisnost dielektrične konstante od frekvence je pri vzorcih 1A in 9A podobna pri vseh temperaturah, vrednosti ϵ' naraščajo od frekvence 100 do 1000 Hz, nato dosežejo plato v frekvenčnem območju med 1000 Hz in 1 MHz, kjer so vrednosti ϵ' skoraj konstantne. V frekvenčnem območju 1 MHz do 2 MHz pa opazimo zniževanje ϵ' . Zniževanje vrednosti ϵ' je najbolj izrazito pri nižjih temperaturah in pri vzorcu olja 9A.



Slika 10: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1A.



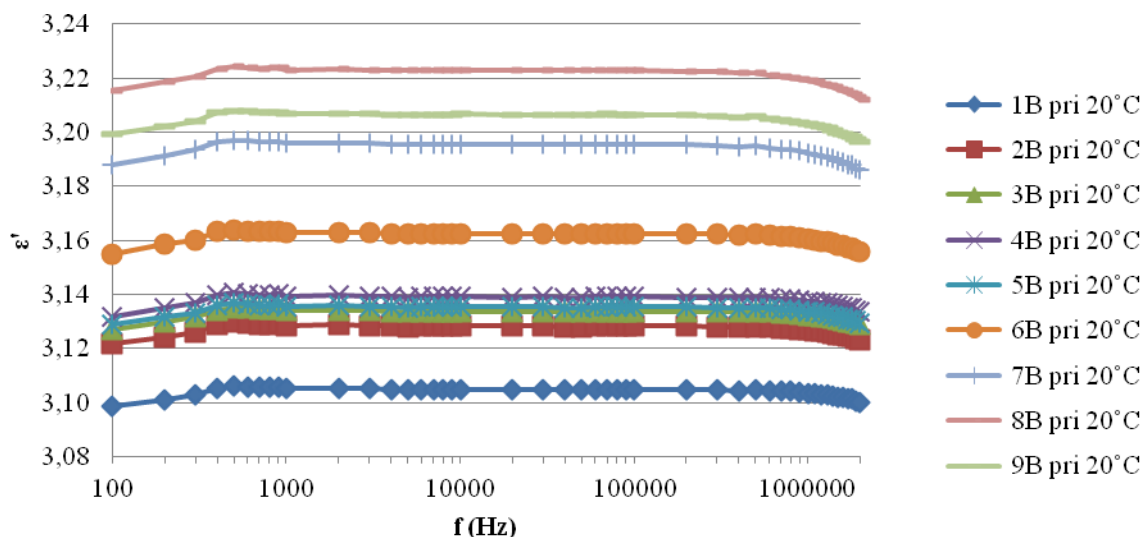
Slika 11: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9A.

Če primerjamo oba grafa vidimo, da dielektrična konstanta olja s časom inkubacije narašča. Tako znaša povprečna ϵ' za celotno frekvenčno območje pri temperaturi meritve

20 °C za vzorec 1A 3,2053 in za 9A 3,5640. Pri 50 °C znaša celotna povprečna ϵ' za 1A 3,0698 in za 9A 3,3923. Opazimo torej, da so razlike v dielektrični konstanti določeni pri nižji temperaturi večje.

4.3.2 Dielektrična konstanta pri temperaturi meritve 20 °C za vzorce 1B-9B

Na sliki 12 je za vzorce B iz celotnega obdobja inkubacije predstavljena dielektrična konstanta izmerjena pri temperaturi 20 °C v celotnem frekvenčnem območju. Najnižje vrednosti ϵ' so po treh dneh pri vzorcu 1B, ko znaša povprečna ϵ' 3,1041 in nato pri 2B naraste na 3,1274. Pri vzorcih 2B, 3B, 4B in 5B pride do rahlega povišanja ϵ' , opaznejša razlika pa je med vzorcema 6B in 7B. Največja vrednost ϵ' 3,2208 je pri 8B in kljub temu, da ta vzorec olja ni bil najdlje izpostavljen oksidaciji, preseže 9B. Podoben pojav spreminjanja vrednosti opazimo tudi pri primarnih in sekundarnih produktih oksidacije, kjer so pri vzorcu 9B posebej vrednosti PŠ in p-AV nižje od 8B.



Slika 12: Dielektrična konstanta (ϵ') v odvisnosti od frekvence (f) pri temperaturi meritve 20 °C za vzorce olja 1B-9B.

Spreminjanje dielektrične konstante s frekvenco zaznamuje minimum pri 100 Hz pri vzorcih 1B do 6B in pri 2 MHz pri vzorcih 7B do 9B. Dielektrična konstanta od nizkih frekvenc narašča in doseže plato v območju od 1000 Hz do 1 MHz, kjer se vrednosti minimalno spreminjajo. V območju od 1 MHz do 2 MHz je opaziti znižanje vrednosti ϵ' .

Spreminjanje dielektrične konstante olja B s frekvenco lahko primerjamo s podatki iz literature (Lizhi in sod., 2008), kjer so določili dielektrično konstanto na oleinskem tipu sončničnega olja, v frekvenčnem območju 100 Hz do 1 MHz in pri temperaturah 20-40 °C, v koraku po 5 °C. Dobili so drugačen potek krivulj: pri vseh temperaturah so opazili plato in maksimalno vrednost pri frekvencah od 100 Hz do 500 Hz, pri višjih frekvencah od 500 Hz do 1 MHz pa se vrednosti ϵ' znižujejo. Tako so določili dielektrično konstanto sončničnemu olju oleinskega tipa pri 1 MHz in pri 25 °C na 3,037, kar je primerljivo z

našo vrednostjo, ki znaša 3,085 za 1B vzorec. Upoštevati pa je potrebno, da je naš vzorec 1B bil že oksidiran in da vsebuje v primerjavi z njihovim oljem manjši delež oleinske kisline.

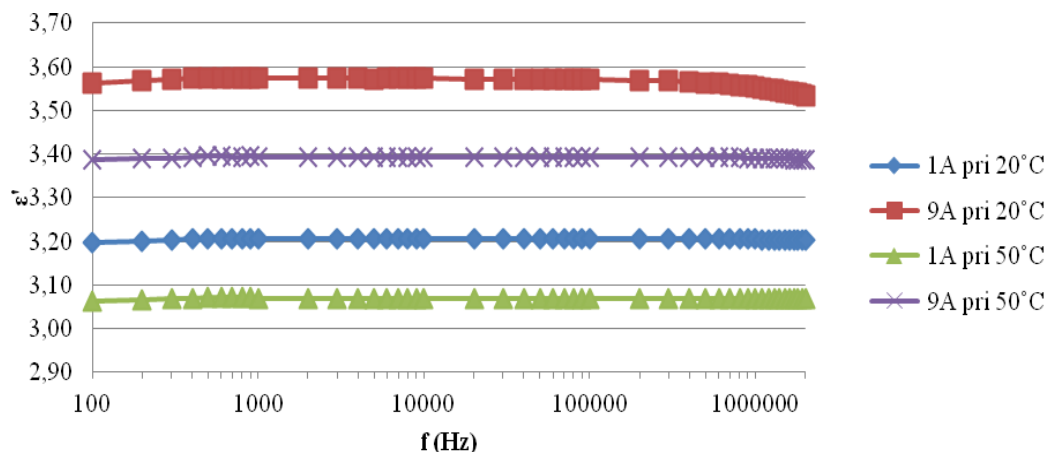
4.3.3 Primerjava dielektrične konstante med vzorcema A in B

Na sliki 13 je prikazana primerjava dielektričnega spektra za vzorce A in sicer za tretji (1A) in zadnji dan merjenja (9A) in na sliki 14 za vzorce B za tretji (1B) in zadnji dan merjenja (9B).

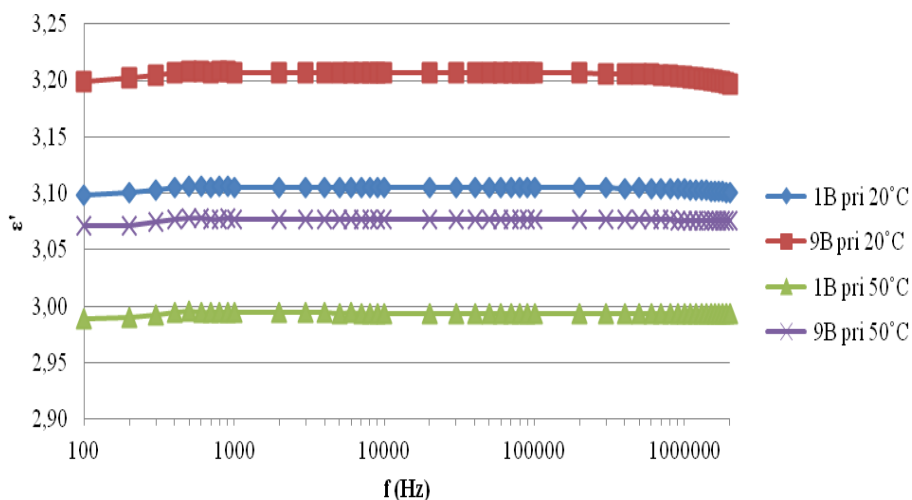
Ob primerjanju vzorcev 1A in 1B vidimo, da je dielektrična konstanta različna že na začetku merjenja. Nižjo začetno vrednost ima vzorec 1B, kjer znaša povprečna ϵ' pri 20 °C 3,1041 in pri 50 °C 2,9937. Pri vzorcu 1A znaša povprečna ϵ' pri 20 °C 3,2053 in pri 50 °C 3,0698. Omenjene razlike so posledice različne sestave olj, tako vsebuje olje B, ki ima nižjo ϵ' , večjo vsebnost oleinske kisline.

Po končani oksidaciji olj ima še zmeraj večjo ϵ' vzorec 9A, kjer ta znaša 3,5640 pri 20 °C in 3,3923 pri 50 °C. Pri vzorcu 9B se tudi poveča povprečna vrednost ϵ' in sicer približno do vrednosti ϵ' olja 1A ob začetku opazovanja. Za vzorec 9B so povprečne vrednosti ϵ' 3,2046 pri 20 °C in 3,0763 pri 50 °C.

Vrednosti dielektrične konstante oleinskega tipa vzorca 1B lahko primerjamo z literaturo (Prevc, 2011), kjer so uporabili isti LCR merilnik Agilent 4980A s celico 16452A. V frekvenčnem območju od 1 do 2000 kHz smo meritve izvajali po istih korakih in pri štirih temperaturah, le da smo mi pomerili pri 25 in ne pri 30 °C. V tem frekvenčnem območju je pri 20 °C na njihovem vzorcu olja povprečna ϵ' 3,0968 in je za 0,0083 nižja kot pri 1B. Pri 50 °C pa je razlika med povprečjem ϵ' vzorcev 0,0659. Pri tem je treba upoštevati, da so razlike v maščobno kislinski sestavi vzorcev, njihov je vseboval 86,3 % oleinske kisline, naš pa le 77 %. Upoštevati je potrebno tudi, da smo vzorec 1B analizirali po 3 dneh oksidacije.



Slika 13: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) pri temperaturi 20 °C in 50 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce olja 1A in 9A.



Slika 14: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) pri temperaturi 20 °C in 50 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce olja 1B in 9B.

Rudan-Tasič in Klofutar (1999) so pri 2 MHz določali dielektrično konstanto enajstim vzorcem slovenskih olj, dva izmed njih pa imata sestavo podobno našim. Primerjamo lahko 1A in 1B pri temperaturah merjenja 25 in 40 °C. Za sončnično olje, ki je primerljivo z našim oljem A, so pri 25 °C določili ϵ' 3,157 (za vzorec 1A: $\epsilon' = 3,181$), pri 40 °C pa ϵ' 3,066 (vzorec 1A: $\epsilon' = 3,113$). Za sončnično olje, ki je primerljivo z našim oljem B, pa pri 25 °C ϵ' 3,105 (1B: $\epsilon' = 3,083$) in pri 40 °C ϵ' 3,016 (1B: $\epsilon' = 3,029$). Tako je pri temperaturi 25 °C naša dielektrična konstanta 1A za 0,8 % višja in 1B za 0,7 % nižja. Primerjava meritev je otežena, ker so naša olja bila že oksidirana. Skupno pa nam je zniževanje ϵ' z naraščajočo temperaturo in nižja ϵ' pri oleinskem tipu sončničnega olja.

4.3.4 Plato dielektrične konstante

Glede na dejstvo, da se dielektrična konstanta v frekvenčnem območju 1000 Hz-1 MHz zelo malo spreminja s frekvenco, smo za to območje določili dielektrično konstanto, kot povprečno vrednost in jo hkrati s standardno deviacijo podali v preglednici 7. Iz predhodnih objav (Prevc 2010) vemo, da so razlike zaradi oksidacije olja v tem frekvenčnem intervalu največje. Za nadaljnji opis spreminjanja dielektrične konstante zaradi oksidacije bomo uporabljali povprečno vrednost dielektrične konstante v tem frekvenčnem intervalu in za to vrednost uporabljali oznako ϵ'_p .

Iz preglednice 7 lahko opazimo, kako se ϵ'_p znižuje s povišanjem temperature. Najvišjo vrednost dielektrične konstante smo določili pri vzorcu 9A, pri temperaturi 20 °C. Pri vzorcih olja A pri vseh temperaturah ϵ'_p narašča s podaljševanjem časa inkubacije, razen pri vzorcu 2A, ko se vrednosti nekoliko znižajo. Zaradi lažje obravnave rezultatov smo se odločili, da meritve dielektrične konstante ϵ'_p vzorca 2A ne upoštevamo pri nadaljnjih izračunih..

Vpliv temperature določanja ϵ'_p se pokaže tudi pri standardni deviaciji. Največja je pri temperaturi 20 °C in se z naraščanjem temperature zmanjšuje. Večja standardna deviacija dielektrične konstante ϵ'_p pa je povezana tudi s trajanjem inkubacije olja, saj je najnižja pri vzorcu 1A in se povečuje do 9A. Pri vzorcih B se deviacija glede na temperaturo meritve in čas inkubacije giblje podobno, le vrednosti so manjše. Glede na dielektrični spekter na slikah 13 in 14 lahko sklepamo, da se standardna deviacija povečuje zaradi zniževanja dielektrične konstante pri frekvencah nad 1 MHz, ta pojav komaj opazno vpliva tudi na vrednosti ϵ' pri frekvencah nekaj pod 1 MHz.

Pri oleinskem tipu sončničnega olja je ϵ'_p najvišja pri vzorcu 8B, določena pri temperaturi 20 °C. Dielektrična konstanta ϵ'_p , podobno kot pri olju A narašča s časom inkubacije, le da tukaj dvakrat opazimo znižanje vrednosti in sicer rahlo znižanje pri 5B in večje pri zadnji meritvi 9B.

Preglednica 7: Povprečna vrednost dielektrične konstante (ϵ'_p) določena v frekvenčnem območju 1000 Hz-1 MHz in njena standardna deviacija za vzorce olja 1A-9A in 1B-9B.

Povprečna vrednost ϵ'_p				
T (°C) Vzorec	20 °C	25 °C	40 °C	50 °C
1A	3,2058 ± 0,0003	3,1827 ± 0,0002	3,1138 ± 0,0001	3,0700 ± 0,0001
2A	3,0767 ± 0,0003	3,0561 ± 0,0002	3,0077 ± 0,0001	2,9849 ± 0,0001
3A	3,2434 ± 0,0002	3,2281 ± 0,0003	3,1574 ± 0,0002	3,1133 ± 0,0001
4A	3,3252 ± 0,0011	3,3006 ± 0,0007	3,2283 ± 0,0018	3,1842 ± 0,0002
5A	3,3518 ± 0,0012	3,3284 ± 0,0008	3,2535 ± 0,0003	3,2026 ± 0,0002
6A	3,4298 ± 0,0024	3,4020 ± 0,0016	3,3219 ± 0,0005	3,2707 ± 0,0003
7A	3,5188 ± 0,0042	3,4816 ± 0,0029	3,3944 ± 0,0009	3,3405 ± 0,0005
8A	3,5456 ± 0,0053	3,5166 ± 0,0037	3,4305 ± 0,0012	3,3759 ± 0,0006
9A	3,5692 ± 0,0061	3,5406 ± 0,0042	3,4532 ± 0,0014	3,3933 ± 0,0008
1B	3,1048 ± 0,0004	3,0858 ± 0,0003	3,0297 ± 0,0002	2,9939 ± 0,0002
2B	3,1282 ± 0,0004	3,1073 ± 0,0003	3,0454 ± 0,0002	3,0063 ± 0,0002
3B	3,1337 ± 0,0004	3,1133 ± 0,0003	3,0516 ± 0,0002	3,0109 ± 0,0002
4B	3,1390 ± 0,0004	3,1182 ± 0,0003	3,0558 ± 0,0002	3,0159 ± 0,0002
5B	3,1352 ± 0,0005	3,1143 ± 0,0003	3,0535 ± 0,0002	3,0121 ± 0,0002
6B	3,1624 ± 0,0006	3,1419 ± 0,0004	3,0795 ± 0,0002	3,0373 ± 0,0002
7B	3,1952 ± 0,0009	3,1748 ± 0,0006	3,1112 ± 0,0002	3,0687 ± 0,0003
8B	3,2223 ± 0,0011	3,2015 ± 0,0007	3,1372 ± 0,0003	3,0936 ± 0,0003
9B	3,2061 ± 0,0010	3,1846 ± 0,0007	3,1202 ± 0,0002	3,0766 ± 0,0003

4.3.5 Povezava primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov z ϵ'_p

Rezultati klasičnih kemijskih analiz, s katerimi smo določali primarne in sekundarne oksidacijske produkte, so skupaj s standardno deviacijo podani v preglednici 5. Te rezultate bomo primerjali z povprečno dielektrično konstanto ϵ'_p v preglednici 7, ki podaja vrednosti meritev dielektrične konstante v frekvenčnem območju 1000 Hz-2 MHz.

Za regresijsko funkcijo, s katero najbolje opišemo zvezo med rezultati določitev, smo izbrali premico ali polinom druge stopnje. Linearna odvisnost empiričnih podatkov je podana z enačbo:

$$y = a + bx \quad (20)$$

polinom druge stopnje pa je v obliki:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (21)$$

V preglednicah so pri prikazu odvisnosti dielektrične konstante ϵ'_p , od oksidacijskih produktov, navedeni regresijski parametri a , b , c , njihove napake in koeficient determinacije (r^2). Vrednost r^2 je lahko v območju med 0 in 1, pri čemer 1 pomeni popolno prileganje podatkov (Košmelj, 2007). Navedene regresijske parametre in njihove statistične vrednosti smo izračunali po metodi najmanjših kvadratov in grafično predstavili s pomočjo funkcije linest v programu Excel 2007.

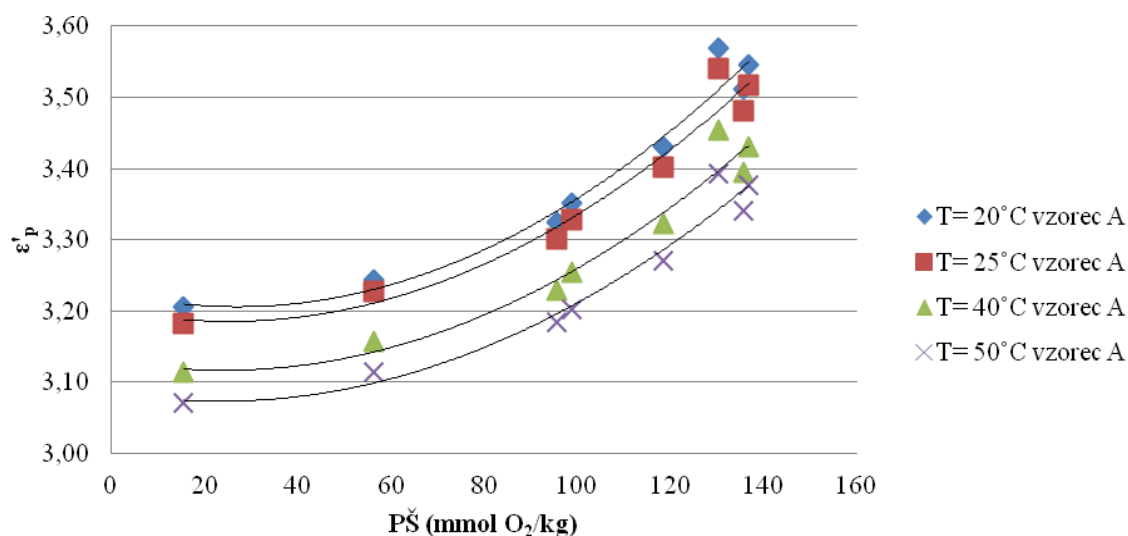
4.3.5.1 Vpliv peroksidnega števila na ϵ'_p

Na slikah 15 in 16 je za vzorce olja A in B prikazano ujemanje peroksidnega števila (preglednica 5) z ϵ'_p pri vseh štirih temperaturah merjenja (preglednica 7). Pri vzorcih A lahko prileganje podatkov najbolje opišemo s polinomom druge stopnje:

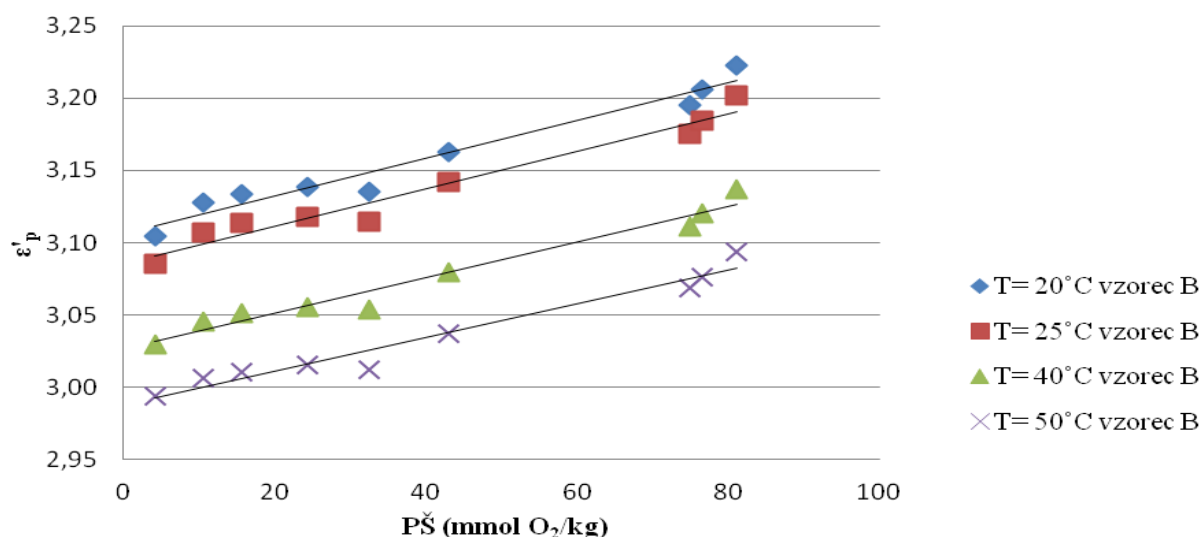
$$P\check{S} = a + b \cdot P\check{S} + c \cdot P\check{S}^2 \quad (22)$$

Odvisnost za vzorce B pa je linearna:

$$P\check{S} = a + b \cdot P\check{S} \quad (23)$$



Slika 15: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od peroksidnega števila ($P\check{S}$) za vzorce olja A.



Slika 16: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od peroksidnega števila ($P\check{S}$) za vzorce olja B.

V preglednici 8 so zbrani regresijski parametri in njihove napake, ki opisujejo odvisnost ϵ'_p od peroksidnega števila za oba vzorca olja. Vrednosti r^2 so pri vseh okoli 0,96, kar pomeni dobro prilaganje podatkov.

Pri vzorcu A na sliki 15 je najvišje leži polinom pri 20 °C in ostali si po naraščajoči temperaturi sledijo pod njim. Tako opazimo najizrazitejšo odvisnost pri 20 °C, kjer sta parametra a in b največja. Napake parametrov funkcij pa se pri obeh oljih z naraščanjem temperature manjšajo.

Preglednica 8: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od peroksidnega števila v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.

parameter	a	b	c	r ²
T (°C)	Vzorec A: sončnično olje			
20	3,227 ± 0,050	$-(1,6 \pm 1,3) \cdot 10^{-3}$	$(2,87 \pm 0,81) \cdot 10^{-5}$	0,9615
25	3,203 ± 0,047	$-(1,4 \pm 1,4) \cdot 10^{-3}$	$(2,70 \pm 0,83) \cdot 10^{-5}$	0,9570
40	3,131 ± 0,045	$-(1,2 \pm 1,3) \cdot 10^{-3}$	$(2,49 \pm 0,80) \cdot 10^{-5}$	0,9556
50	3,086 ± 0,041	$-(1,1 \pm 1,2) \cdot 10^{-3}$	$(2,36 \pm 0,73) \cdot 10^{-5}$	0,9595
	Vzorec B: sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline			
20	3,1058 ± 0,0050	$(1,31 \pm 0,10) \cdot 10^{-3}$	/	0,9594
25	3,0857 ± 0,0049	$(1,2968 \pm 0,0010) \cdot 10^{-3}$	/	0,9602
40	3,0263 ± 0,0045	$(1,2338 \pm 0,0091) \cdot 10^{-3}$	/	0,9636
50	2,9881 ± 0,0045	$(1,1620 \pm 0,0091) \cdot 10^{-3}$	/	0,9591

Odvisnost dielektrične konstante vzorca B od $P\check{S}$ smo opisali z linearno zvezo, najbolj izrazito naraščanje je pri 20 °C in intenziteta naraščanja (naklon premice) pada z višanjem temperature. Ob povečanju peroksidnega števila za eno enoto, se dielektrična konstanta pri 20 in 25 °C poveča za 0,0013 in pri 50 °C za 0,0012.

Ob upoštevanju parametrov funkcije v preglednici 8 bi pri $P\check{S}$ 40 mmol O₂/kg za A vzorec pri 20 °C znašala dielektrična konstanta 3,17 in pri 50 °C 3,08. Za vzorec B pa bi te vrednosti bile 3,16 in 3,03. Vidimo, da doseže dielektrična konstanta višje vrednosti s povečanjem $P\check{S}$ pri olju A, kar je razvidno tudi iz višjega parametra a.

S preučevanjem odvisnosti dielektrične konstante od peroksidnega števila na sončničnem olju in njegovih zmesih z oljem žafranike, se je ukvarjala tudi Prevc (2010). V frekvenčnem območju 1 MHz-2 MHz so opisali linearno odvisnost pri vseh temperaturah in tudi oni so opazili največji smerni parameter premice pri 20 °C. Enačba premice s katero so opisali spreminjanje pri tej temperaturi je $\epsilon' = (3,150 \pm 0,013) + (1,31 \pm 0,5) \cdot P\check{S}$ in je podobna naši $\epsilon'_p = (3,106 \pm 0,050) + (1,31 \pm 0,001) \cdot P\check{S}$. Prav tako je enako v našem delu in v delu Prevc (2010) naraščanje dielektrične konstante zaradi naraščanja $P\check{S}$ za 1 mmol O₂/kg: 0,0013 pri 20, 30 in 40 °C (pri nas pri 20 °C in 25 °C) in pri 50 °C za 0,0012.

4.3.5.2 Vpliv konjugiranih dienov na ϵ'_p

Na slikah 17 in 18 je prikazana odvisnost ϵ'_p od konjugiranih dienov (preglednica 5 in 7) za vzorce olj A in B. Izkazalo se je, da omenjeno odvisnost dobro opišemo s polinomom druge stopnje:

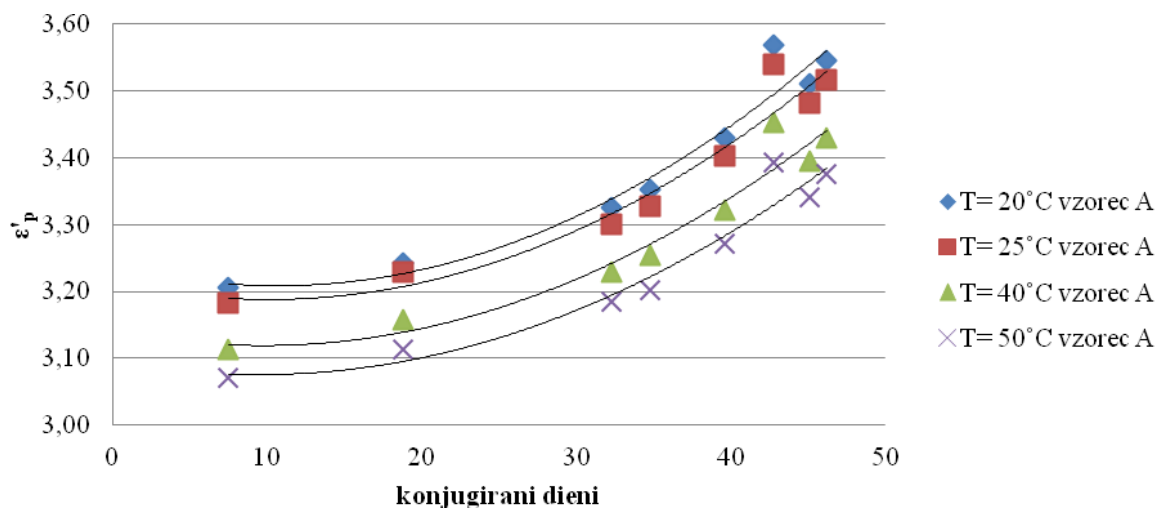
$$E_{cm}^{1\%} = a + b \cdot E_{cm}^{1\%} + c \cdot (E_{cm}^{1\%})^2 \quad (24)$$

V preglednici 9 so podane vrednosti regresijskih parametrov polinoma in njihove statistične vrednosti. Pri temperaturi meritve 50 °C opazimo najmanjše vrednosti napak

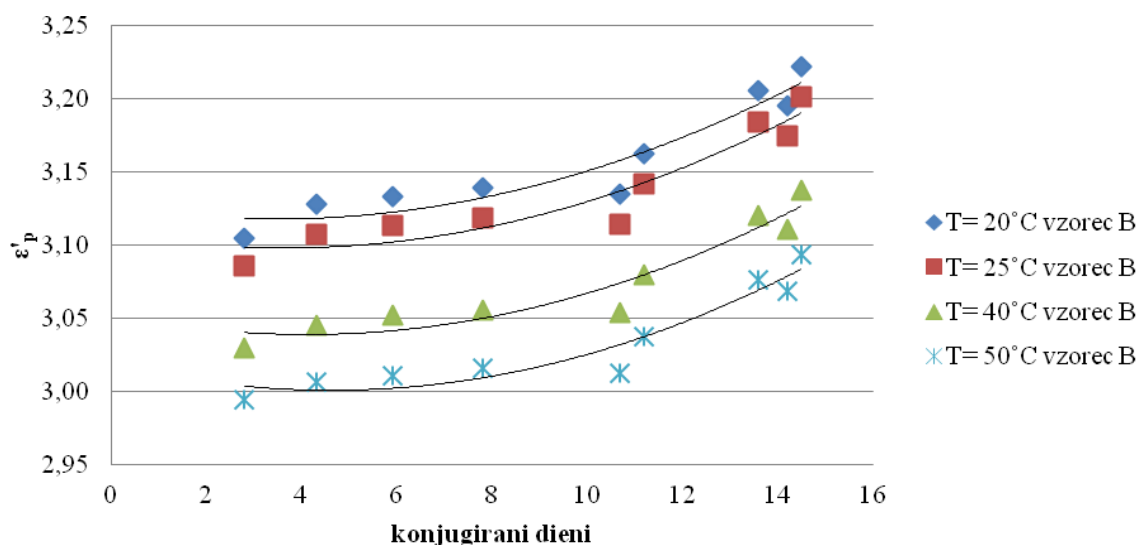
parametrov in hkrati največji r^2 . Parameter a je najvišji pri 20 °C pri obeh oljih in tudi odvisnost konjugiranih dni od ϵ'_p je pri tej temperaturi najvišja.

Kot vidimo na slikah 17 in 18 sta pri obeh oljih najvišje ležeča polinoma pri 20 °C in vsi pod njima si sledijo z naraščanjem temperature merjenja. Največje razlike med polinomi tako opazimo med 25 °C in 40 °C. V primerjavi z vzorci B zavzemajo vzorci A večje območje vrednosti konjugiranih dni in ϵ'_p , ki je za vzorce A od 7,5 do 46,8 in za vzorce B med 2,8 in 14,5.

Če si izberemo vrednost konjugiranih dni 10, ki je sicer tudi v območju meritev obeh olj, izračunamo s pomočjo parametrov v preglednici 9 večjo ϵ' za vse temperature pri olju A kot pri olju B. Tako znaša ϵ' pri 20 °C pri A 3,21 in pri B 3,15 ter pri 50 °C za olje A 3,08 in za B 3,03.



Slika 17: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih dni za vzorce olja A.



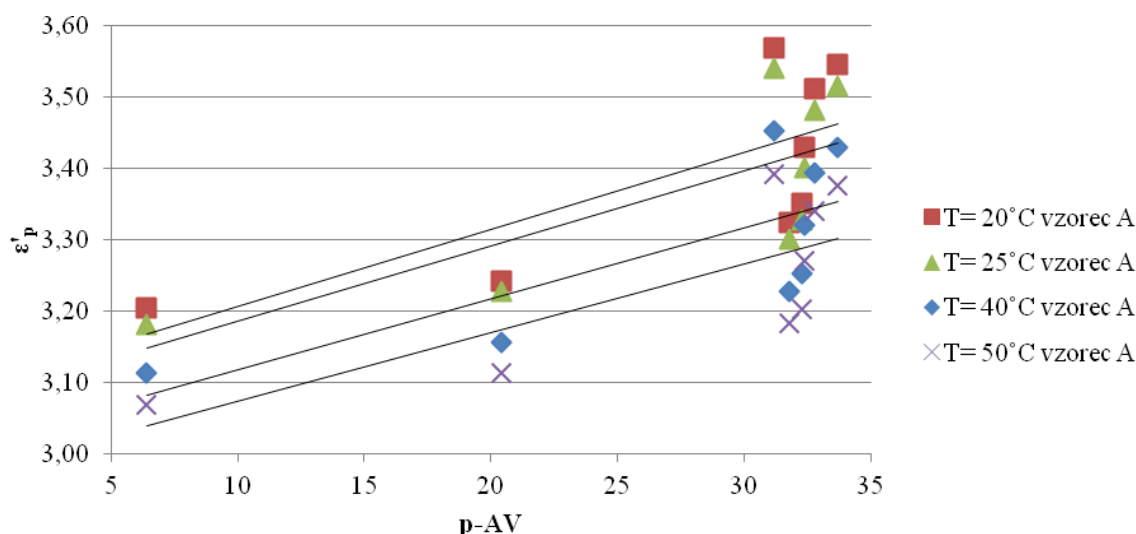
Slika 18: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih dni za vzorce olja B.

Preglednica 9: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od konjugiranih dni v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.

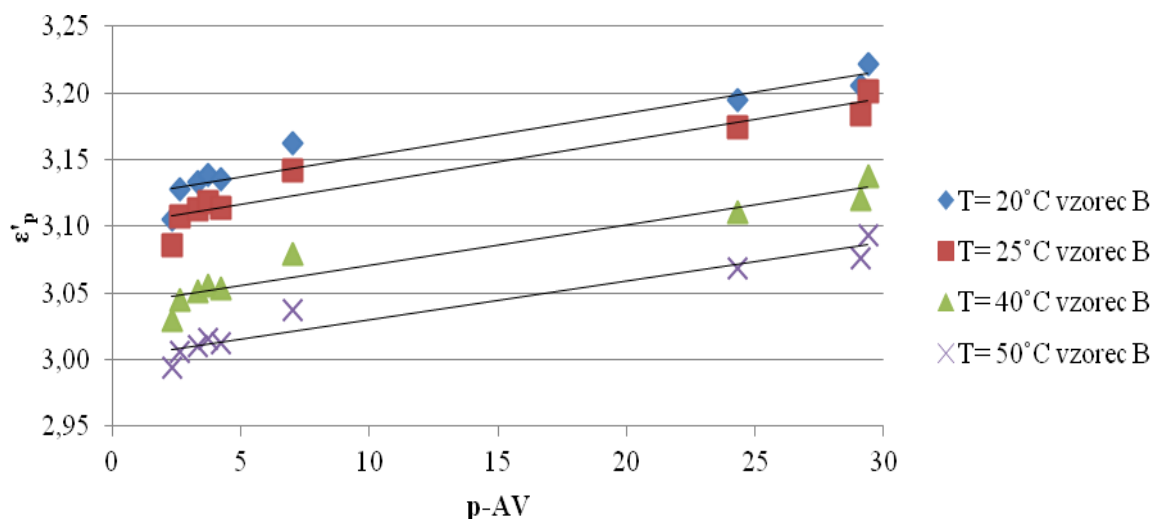
parameter	a	b	c	r ²
T (°C)	Vzorec A: sončnično olje			
20	3,240 ± 0,067	$-(5,9 \pm 5,6) \cdot 10^{-3}$	$(2,79 \pm 0,10) \cdot 10^{-4}$	0,9455
25	3,215 ± 0,067	$-(5,3 \pm 5,6) \cdot 10^{-3}$	$(2,6 \pm 1,0) \cdot 10^{-4}$	0,9407
40	3,142 ± 0,064	$-(4,7 \pm 5,4) \cdot 10^{-3}$	$(2,42 \pm 0,96) \cdot 10^{-4}$	0,9397
50	3,096 ± 0,059	$-(4,4 \pm 5,0) \cdot 10^{-3}$	$(2,29 \pm 0,89) \cdot 10^{-4}$	0,9436
	Vzorec B: sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline			
20	3,127 ± 0,027	$-(5,2 \pm 7,1) \cdot 10^{-3}$	$(7,6 \pm 3,9) \cdot 10^{-4}$	0,9002
25	3,108 ± 0,027	$-(5,6 \pm 6,9) \cdot 10^{-3}$	$(7,8 \pm 3,8) \cdot 10^{-4}$	0,9026
40	3,0523 ± 0,024	$-(6,7 \pm 6,2) \cdot 10^{-3}$	$(8,2 \pm 3,4) \cdot 10^{-4}$	0,9129
50	3,019 ± 0,023	$-(7,9 \pm 5,9) \cdot 10^{-3}$	$(8,5 \pm 3,3) \cdot 10^{-4}$	0,9124

4.3.5.3 Vpliv *p*-anizidinskega števila na ϵ'_p

Na sliki 19 in 20 je na osnovi podatkov, ki so podani v preglednicah 5 in 7, prikazana odvisnost ϵ'_p od *p*-anizidinske vrednosti vzorcev A in B, pri vseh štirih temperaturah merjenja.



Slika 19: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od p -anizidinske vrednosti (p -AV) za vzorce olja A.



Slika 20: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od p -anizidinske vrednosti (p -AV) za vzorce olja B.

Med inkubacijo olj je prišlo do naraščanja p -anizidinske vrednosti, pri olju A od 6,4 do 33,7 in pri B od 2,3 do 29,4. Z naraščanjem p -AV se dielektrična konstanta povečuje. Danim točkam smo določili najboljše prileganje (preglednica 10), ki je za oba olja linearno in ga lahko opišemo z enačbo:

$$\epsilon'_p = b \cdot p\text{-AV} + a \quad (25)$$

Dielektrična konstanta narašča s p -AV v največji meri pri 20 °C, kar pokaže tudi najvišji naklon premic b . Če se pri 20 °C poveča p -AV za 1, naraste ϵ' za 0,011 pri A in za 0,0032 pri B vzorcu. Z višanjem temperature meritve se dielektrična konstanta znižuje. Napake se s povišanjem temperature znižujejo in so za enega ali več velikostnih razredov manjše pri vzorcu B, kjer pa tudi r^2 dosega višje vrednosti.

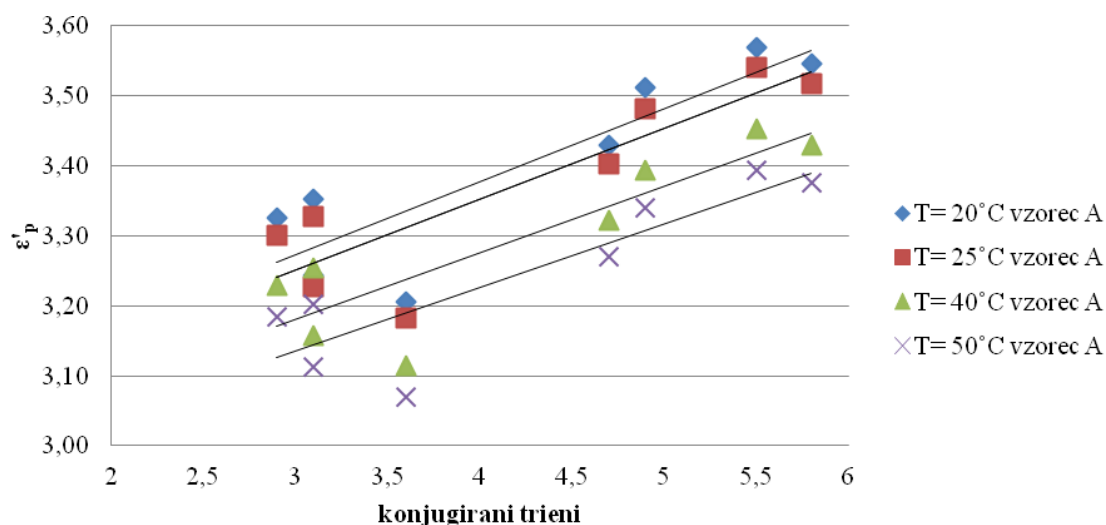
Pri *p*-anizidinskem številu 20, ki je v območju meritev obeh olj, znaša dielektrična konstanta izračunana s parametri v preglednici 10, za olje A 3,32 pri 20 °C in 3,17 pri 50 °C, za olje B pa sta vrednosti 3,19 in 3,06.

Preglednica 10: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od *p*-anizidinske vrednosti v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.

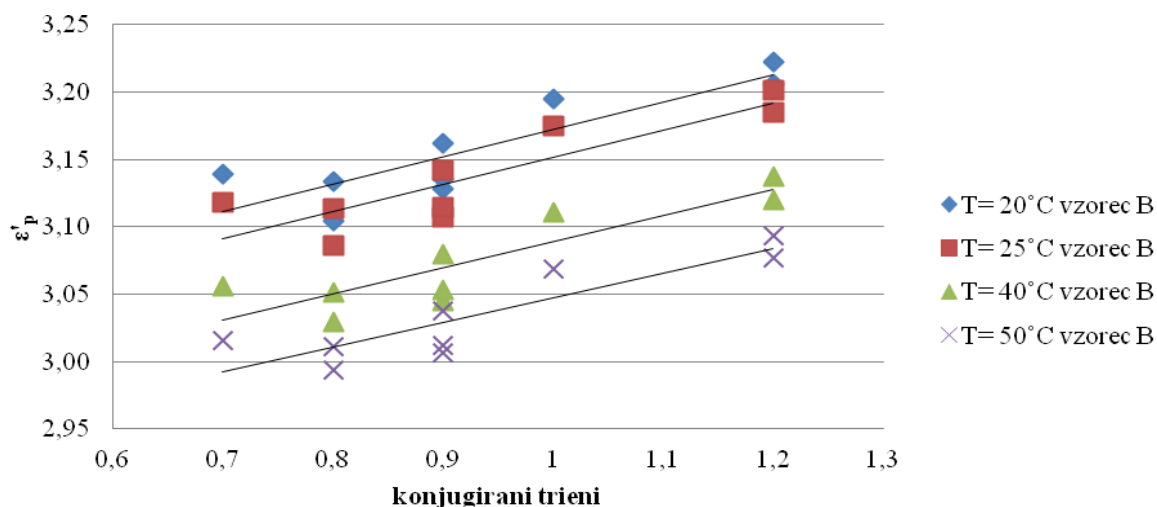
parameter	a	b	r ²
T (°C)	Vzorec A: sončnično olje		
20	3,10 ± 0,11	(1,08 ± 0,39) · 10 ⁻²	0,5610
25	3,08 ± 0,11	(1,05 ± 0,38) · 10 ⁻²	0,5646
40	3,02 ± 0,10	(9,9 ± 3,5) · 10 ⁻³	0,5705
50	2,979 ± 0,097	(9,6 ± 3,4) · 10 ⁻³	0,5773
	Vzorec B: sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline		
20	3,1208 ± 0,0060	(3,21 ± 0,37) · 10 ⁻³	0,9165
25	3,1005 ± 0,0058	(3,19 ± 0,36) · 10 ⁻³	0,9195
40	3,0402 ± 0,0051	(3,05 ± 0,31) · 10 ⁻³	0,9307
50	3,0010 ± 0,0045	(2,89 ± 0,27) · 10 ⁻³	0,9409

Odvisnost dielektrične konstante od *p*-AV lahko primerjamo z modelnimi lipidnimi zmesmi sončničnega olja in staranega olja žafranke (Prevc, 2010). Tudi oni so ugotovili linearno odvisnost z največjim vplivom pri 20 °C, kjer je parameter b največji in je enačba premice $\epsilon' = (3,16 \pm 0,017) + (2,65 \pm 0,12) p\text{-AV}$. Če pri tej temperaturi povečamo *p*-AV za 1, se v zgoraj omenjeni raziskavi ϵ' poveča za 0,0027 in pri nas za 0,0032.

4.3.5.4 Vpliv konjugiranih trienov na ϵ'_p



Slika 21: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja A.



Slika 22: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja B.

Na slikah 21 in 22 je predstavljena ϵ'_p (preglednica 7) v odvisnosti od konjugiranih trienov (preglednica 5). Konjugirani trienovi so tekom inkubacije dosegli višje vrednosti in zavzeli širše območje meritev pri navadnem sončničnem olju in sicer od 2,9 do 5,8, pri oleinskem tipu pa vrednosti med 0,7 in 1,2. Prileganje podatkov za vzorce olj smo opisali z enačbo premice:

$$\epsilon'_p = a + b \cdot E_{268} \quad (26)$$

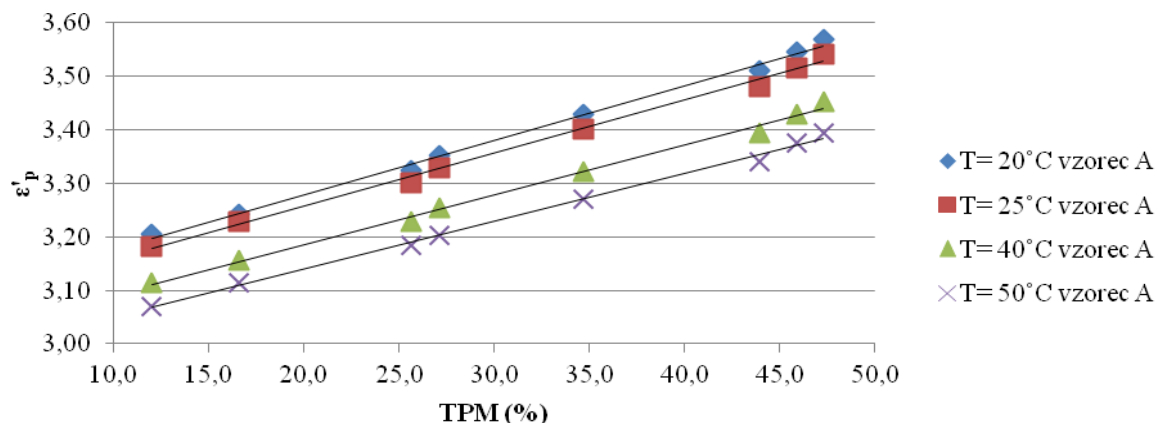
in regresijske parametre zbralo v preglednici 11. Največji vpliv smo opazili pri 20 °C. Z naraščanjem temperature merjenja se parametri a in b ter njune napake manjšajo. Pri oleinskem tipu sončničnega olja opazimo večji prirast dielektrične konstante, saj je parameter b večji, kot pri tipičnem sončničnem olju. Tako se ob povečanju konjugiranih trienov za 1, pri 20 °C, spremeni dielektrična konstanta olja A za 0,10 in olja B za 0,20.

Preglednica 11: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti dielektrične konstante od konjugiranih trienov v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.

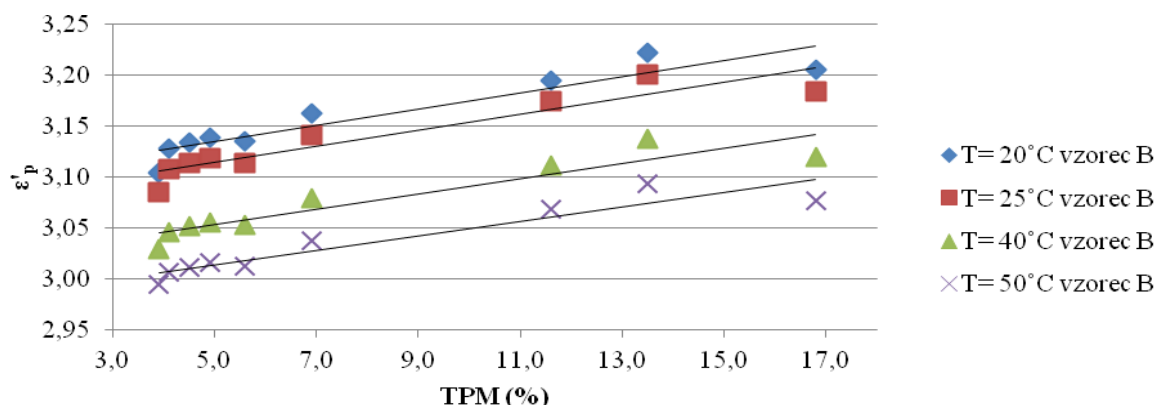
parameter	a	b	r ²
T (°C)	Vzorec A: sončnično olje		
20	2,96 ± 0,19	0,104 ± 0,023	0,7694
25	2,949 ± 0,099	0,101 ± 0,023	0,7662
40	2,895 ± 0,094	0,0949 ± 0,022	0,7615
50	2,863 ± 0,090	0,0906 ± 0,021	0,7594
	Vzorec B: sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline		
20	2,969 ± 0,041	0,204 ± 0,043	0,7620
25	2,950 ± 0,040	0,202 ± 0,043	0,7609
40	2,896 ± 0,037	0,193 ± 0,040	0,7722
50	2,865 ± 0,035	0,182 ± 0,037	0,7755

4.3.6 Vpliv TPM vrednosti na ϵ'_p

Na slikah 23 in 24 je grafično predstavljena odvisnost dielektrične konstante ϵ'_p od rezultatov določitve TPM za vzorce olj A in B. Ustrezne podatke najdemo v preglednicah 5 in 6. Iz slik je razvidno, da z naraščanjem TPM vrednosti linearno narašča ϵ'_p , širši razpon meritev pa je pri olju A.



Slika 23: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja A.



Slika 24: Dielektrična konstanta (ϵ'_p) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja B.

V preglednici 12 so za vzorce olja A in B podani parametri linearne zveze:

$$\epsilon'_p = a + b \cdot \text{TPM} \quad (27)$$

Pri olju A je koeficient determinacije r^2 bližje 1, kar pomeni boljše prilaganje podatkov od olja B.

Z naraščanjem TPM vrednosti se dielektrična konstanta pozitivno povečuje in sicer najbolj pri 20 °C, kjer je tudi parameter b pri obeh oljih največji. Tako se olju A pri 20 °C ob povečanju TPM vrednosti za 1 ϵ'_p spremeni za 0,010 in pri B za 0,0079. Pri 50 °C je r^2 za oba olja najboljši in najnižje so tudi napake parametrov a in b. Ob povečanju TPM za 1, pri najvišji temperaturi merjenja, naraste ϵ'_p pri olju A za 0,0089 in pri B za 0,0071.

Če s parametri v preglednici 12 izračunamo ϵ' pri TPM = 15 %, ki je v območju meritev obeh vzorcev, dobimo pri 20 °C za olje A vrednost 3,2 in za B 3,1; pri 50 °C pa vrednost 3,1 za oba olja. Vidimo tudi lahko, da pri sončničnem olju z višjo vsebnostjo oleinske kisline, povečanje polarnih snovi povzroča manjše naraščanje dielektrične konstante. Pri tem pa je potrebno upoštevati še deklarirano napako instrumenta Testo 270, ki znaša $\pm 2,5$ % TPM.

Preglednica 12: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti, ki opisujejo odvisnost celokupnih polarnih snovi od dielektrične konstante v temperaturnem območju od 20 °C do 50 °C za vzorce olja A in B.

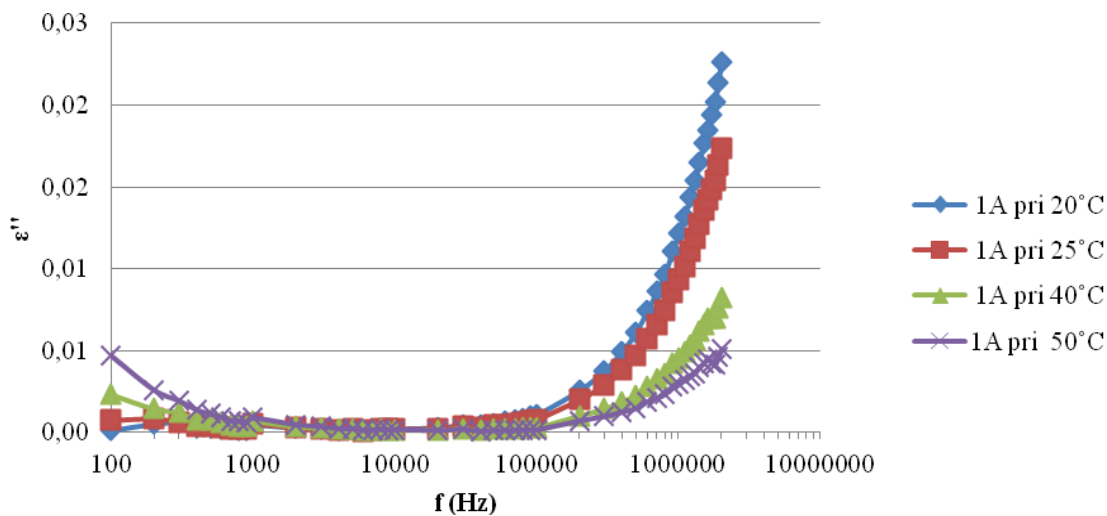
parameter	a	b	r ²
T (°C)	Vzorec A: sončnično olje		
20	3,0752 \pm 0,0083	(1,020 \pm 0,024) $\cdot 10^{-2}$	0,9966
25	3,0593 \pm 0,0089	(9,90 \pm 0,26) $\cdot 10^{-3}$	0,9959
40	2,9986 \pm 0,0086	(9,34 \pm 0,25) $\cdot 10^{-3}$	0,9956
50	2,9610 \pm 0,0071	(8,94 \pm 0,21) $\cdot 10^{-3}$	0,9968
	Vzorec B: sončnično olje z višjo vsebnostjo oleinske kisline		
20	3,095 \pm 0,010	(7,9 \pm 1,1) $\cdot 10^{-3}$	0,8752
25	3,075 \pm 0,010	(7,9 \pm 1,1) $\cdot 10^{-3}$	0,8748
40	3,0162 \pm 0,0095	(7,5 \pm 1,0) $\cdot 10^{-3}$	0,8824
50	2,9785 \pm 0,0088	(7,09 \pm 0,96) $\cdot 10^{-3}$	0,8859

4.4 FAKTOR DIELEKTRIČNIH IZGUB

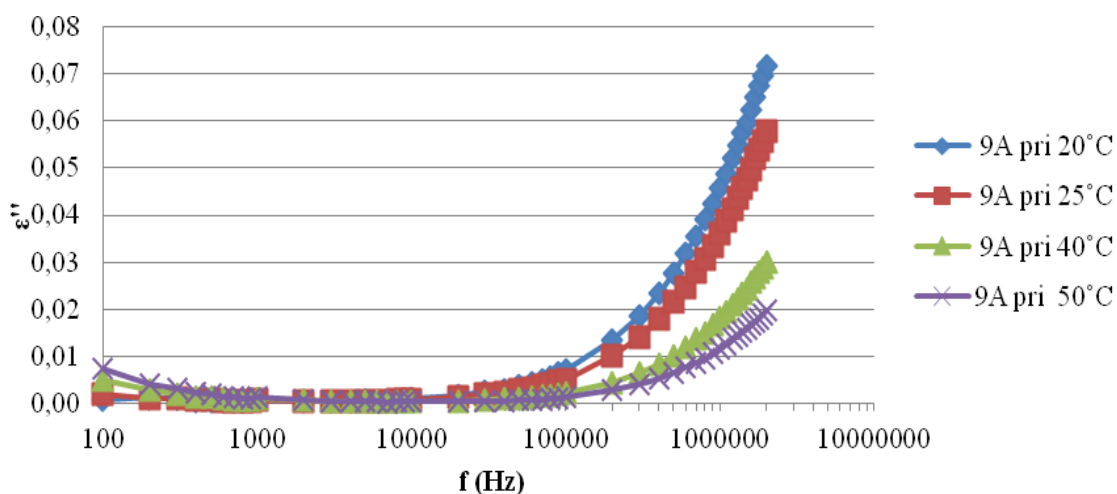
4.4.1 Faktor dielektričnih izgub za vzorce olja 1A in 9A

Na slikah 25 in 26 je predstavljen faktor dielektričnih izgub v odvisnosti od frekvence za vzorce olja 1A in 9A, merjen pri 20, 25, 40 in 50 °C. Skala na abscisi, ki podaja frekvenco, je zaradi boljše preglednosti podana logaritemsko. Krivulje na spodnjih slikah imajo obliko raztegnjene črke U in se spreminjajo glede na temperaturo merjenja.

Spreminjanje ϵ'' za vzorec 1A (slika 25) lahko glede na frekvenco razdelimo v tri območja. V prvem območju, med 100 Hz in 1000 Hz, je višji faktor izgub pri višjih temperaturah merjenja, torej je največji pri 50 °C. Prihaja do zniževanja ϵ'' s povišanjem frekvence. Minimum krivulja doseže v drugem območju med frekvencama 1000 Hz in 100 kHz, ko se vrednosti ϵ'' le malo spreminjajo. V tretjem območju med frekvencama 100 kHz in 2 MHz opazimo eksponentno rast ϵ'' , ki pa je pri nižjih temperaturah še večja. Pri vseh temperaturah doseže ϵ'' največjo vrednost pri najvišji frekvenci.



Slika 25: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1A.



Slika 26: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9A.

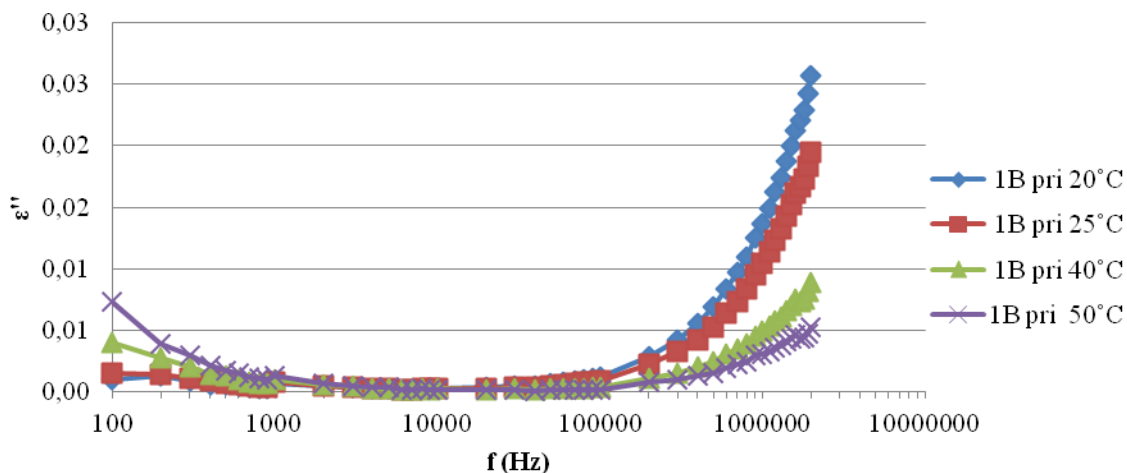
Na sliki 26 je predstavljen faktor dielektričnih izgub za vzorec 9A, ki smo ga inkubirali najdlje, to je enaintrideset dni. Krivulje so podobne kot pri 1A (slika 25). Oblika je najbolj simetrična pri 50 °C, medtem ko je pri nižjih temperaturah podaljšan desni krak, to je pri višjih frekvencah. V primerjavi z vzorcem 1A, je s časom inkubacije prišlo do povečanja faktorja dielektričnih izgub. Najvišje vrednosti ϵ'' so tudi pri vzorcu 9A pri najvišji frekvenci in najnižji temperaturi merjenja, ϵ'' se je tako pri 20 °C povečal iz 0,02266 (vzorec 1A) na 0,07183 (vzorec 9A).

4.4.2 Faktor dielektričnih izgub za vzorce olja 1B in 9B

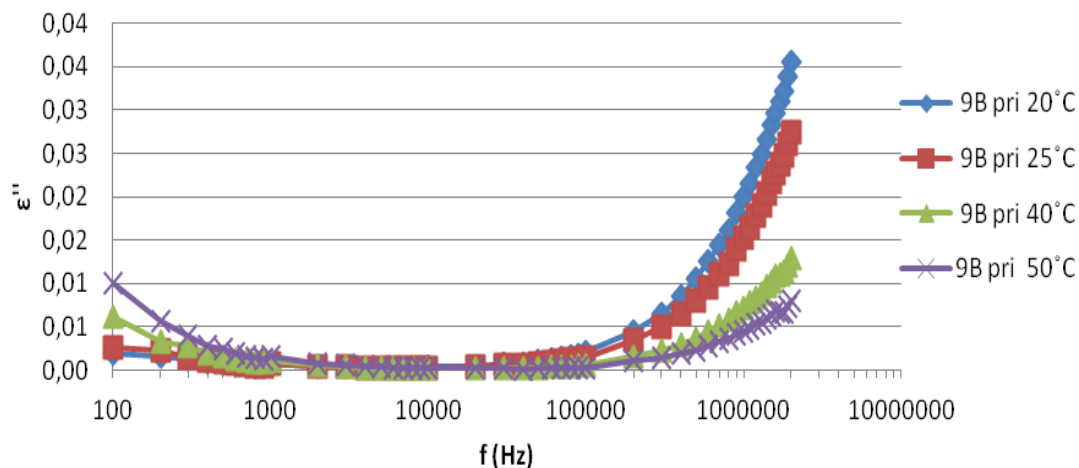
Na slikah 27 in 28 je prikazan faktor dielektričnih izgub v odvisnosti od frekvence in temperature za sončnično olje z visoko vsebnostjo oleinske kisline, po treh (vzorec 1B) in po enaintridesetih (vzorec 9B) dneh inkubacije.

Krivulje so podobne tistim za 1A in 9A. Pri vzorcih 1B in 9B so krivulje dielektričnih izgub v obliki raztegnjene črke U s podaljšanim desnim krakom, z najbolj simetrično obliko pri 50 °C. Krivulje lahko glede na spreminjanje faktorja dielektričnih izgub razdelimo na tri območja. V prvem območju od 100 Hz do 1000 Hz doseže ϵ'' največjo vrednost pri najnižji frekvenci in najvišji temperaturi, to je 50 °C. Tako znaša ϵ'' pri 100 Hz pri vzorcu 1B 0,007298 in naraste z oksidacijo do 0,01005 za vzorec 9B. V drugem frekvenčnem območju, med 1000 Hz in 100 kHz ima krivulja minimum in vrednosti ϵ'' začnejo postopoma naraščati in ta rast se še eksponentno pospeši v tretjem območju nad 100 kHz. Najvišjo vrednost doseže ϵ'' pri obeh vzorcih pri temperaturi 20 °C, za 1B znaša 0,02567 in 9B 0,03559. Faktor izgub se z oksidacijo povečuje, opazimo pa tudi, da je pri vzorcu 9B desni in levi krak krivulje še intenzivneje raztegnjen.

V svojem delu je tudi Prevc (2010) opazovala odvisnost faktorja izgub od frekvence na oleinskem tipu sončničnega olja. Opazimo podobne oblike krivulj, najnižje vrednosti so med frekvenca 10 kHz in 100 kHz, minimalne vrednosti faktorja izgub pa so okrog 0,0003. Pri nas pa so pri 1B minimalne vrednosti ϵ'' okoli 0,0002 in so določene z veliko eksperimentalno napako.



Slika 27: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 1B.



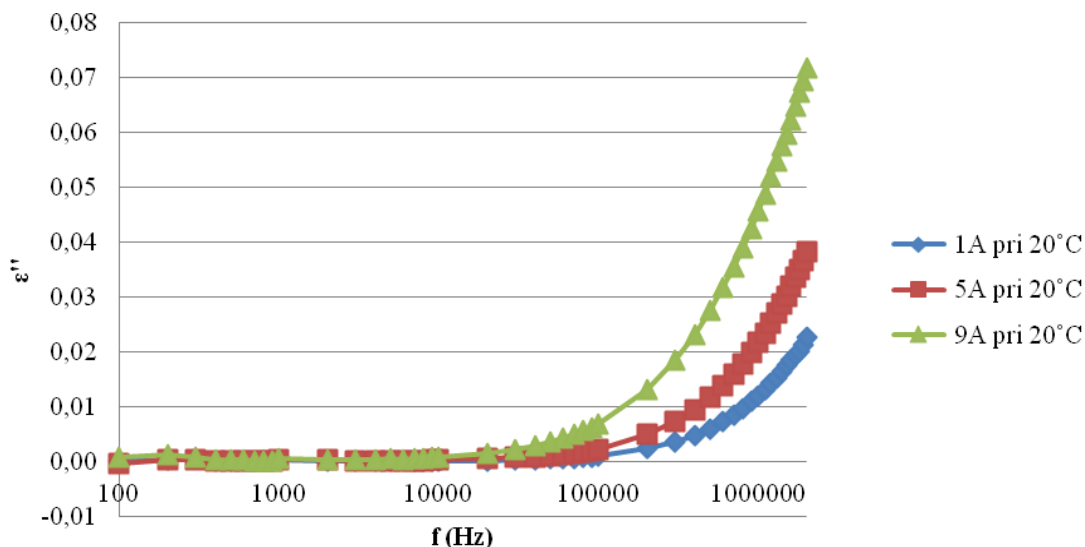
Slika 28: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') v odvisnosti od frekvence (f) pri preiskovanih temperaturah meritve za vzorec 9B

Faktor izgub oleinskega tipa sončničnega olja so merili tudi Lizhi in sod. (2008) in to v frekvenčnem območju 100 Hz-1 MHz. Krivulje so podobne našim, ker pa smo merili do višje frekvence 2 MHz, imamo bolj strmo desno stran krivulje. Opaziti pa je tudi enako temperaturno odvisnost faktorja izgub (Lizhi in sod., 2008).

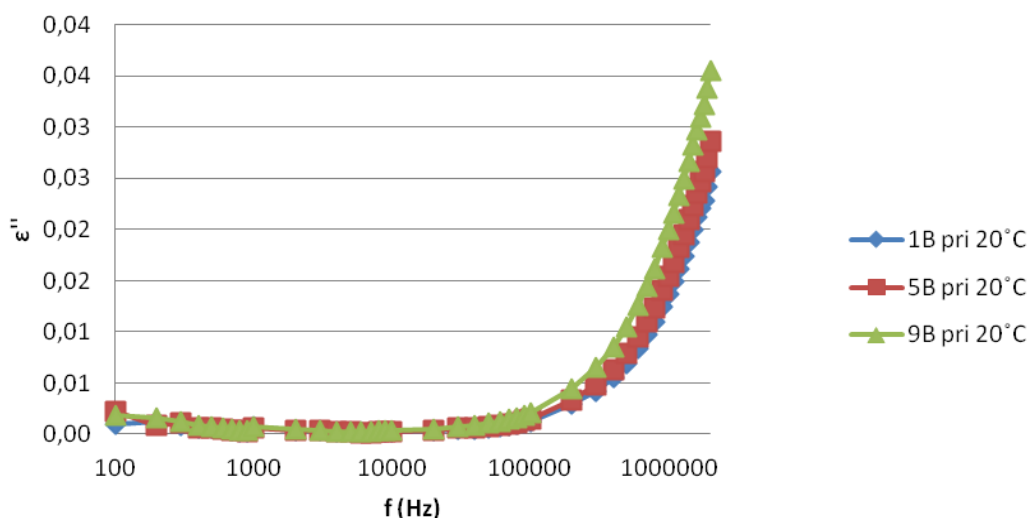
4.4.3 Spreminjanje faktorja izgub glede na čas inkubacije

Na slikah 29 in 30 je podan faktor izgub za vzorce 1A, 5A, 9A in 1B, 5B in 9B, v odvisnosti od frekvence. Navedeni vzorci predstavljajo začetek (3. dan), sredino (17. dan) in konec (31. dan) inkubacije. Zaradi boljše preglednosti smo se odločili le za eno temperaturo meritve in sicer najnižjo 20 °C, kjer dosežejo ϵ'' tudi najvišje vrednosti.

Podobno kot pri določanju primarnih in sekundarnih produktov oksidacije s klasičnim kemijskimi metodami, so tudi pri faktorju izgub, vrednosti za vzorce olja A višje. Vzorci olja A (slika 29) imajo najnižje vrednosti pri frekvencah 100 Hz, vzorec 5A pa doseže celo negativno vrednost ϵ'' , ki znaša $-0,002498$. Pri tako nizkih vrednostih so zelo velike napake meritve. Od tam rahlo naraščajo do 100 kHz, ko se začne pospešena rast, ki doseže maksimum pri 2 MHz. Krivulje tokrat nimajo tipične podaljšane U oblike, ampak so bolj eksponentne. Pri olju B (slika 30) pa je potek odvisnosti faktorja dielektrične izgube od frekvence za posamezne vzorce bolj podoben raztegnjeni črki U z podaljšanim desnim krakom, saj vrednosti ϵ'' na začetku pri nizkih frekvencah znižujejo, od 1000 Hz naprej se počasi višajo in v frekvencah nad 100 kHz pride do eksponentne rasti.



Slika 29: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') pri 20 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce 1A, 5A in 9A.



Slika 30: Faktor dielektričnih izgub (ϵ'') pri 20 °C v odvisnosti od frekvence (f) za vzorce 1B, 5B in 9B.

S časom inkubacije se faktor dielektričnih izgub večja, kar je še bolj očitno za olje A (slika 29), kjer so krivulje v višjem območju frekvenc (nad 100 kHz) med sabo bolj oddaljene, kot v primeru vzorca B, kjer se je faktor izgub s časom inkubacije manj spreminjal. Maksimalne izmerjene ϵ'' vrednosti so pri 2 MHz za vzorec 1A 0,02266, za 5A 0,03829 in za 9A 0,07183. Pri olju B pa znaša vrednost ϵ'' pri 2 MHz na začetku pri 1B 0,02567, na sredini pri 5B 0,02868 in na koncu inkubacije pri 9B 0,03559. Faktor dielektričnih izgub pri 20 °C se torej od tretjega (vzorec 1) do zadnjega dne inkubacije (vzorec 9) pri A olju zviša za 0,04917 in pri B za 0,009928.

El-Shami in sodelavci (1992) so podobno kot mi tudi prišli do ugotovitve, da faktor izgub s staranjem olja narašča. Na 180-190 °C so segrevali zmes sončničnega olja z oljem bombažnih semen, v časovnem obsegu do 25 h. Tudi njihove krivulje kažejo temperaturno odvisnost in so pri 20 °C vrednosti ϵ'' največje.

4.4.4 Povezava primarnih in sekundarnih oksidacijskih produktov z ϵ''_{\max}

Podobno kot Prevc (2010) smo ugotovili, da je zaradi največjih razlik faktor dielektričnih izgub najbolj smiselno preučevati pri visokih frekvencah. Najvišji ϵ'' smo pri vseh vzorcih zabeležili pri temperaturi meritve 20 °C in frekvenci 2 MHz in ga bomo nadalje označevali z ϵ''_{\max} .

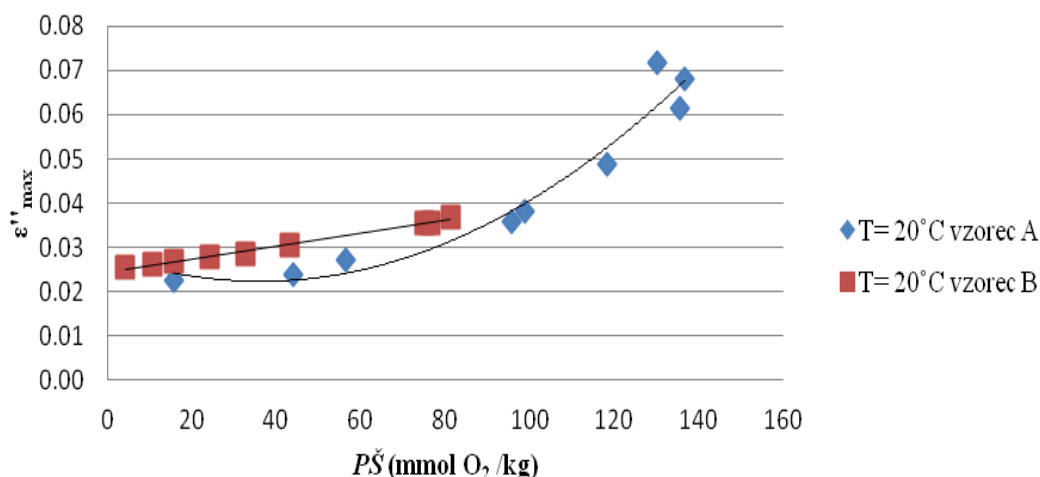
V preglednici 13 so prikazane meritve ϵ''_{\max} , kjer smo pri vzorcih olja A imeli tri paralelke in kasneje, zaradi ugotovljene dobre ponovljivosti pri vzorcu B, le v dve. Izračunali smo povprečje $\bar{\epsilon}''_{\max}$ in standardno deviacijo. S časom inkubacije se povprečna vrednost ϵ''_{\max} povečuje, kar je še bolj očitno pri vzorcu olja A. Standardna deviacija je največja pri vzorcih 9A in 9B in najnižja pri 3A in 3B. Pri vzorcu A standardna deviacija s časom inkubacije vzorcev narašča in zadnji dan znaša $0,73 \cdot 10^{-3}$, kar pomeni 1% relativno napako. Pri B olju pa so te vrednosti manjše, največja deviacija pa je prav tako zadnji dan, ko znaša $0,15 \cdot 10^{-3}$ (0,4% relativna napaka).

Preglednica 13: Faktor dielektričnih izgub za posamezne paralelke (ϵ''_{\max}), povprečna vrednost $\bar{\epsilon}''_{\max}$ s standardno deviacijo za vzorce olja A in B pri 20 °C in frekvenci 2 MHz.

vzorec	$\epsilon''_{\max} \cdot 10^{-3}$ (1)	$\epsilon''_{\max} \cdot 10^{-3}$ (2)	$\epsilon''_{\max} \cdot 10^{-3}$ (3)	$\bar{\epsilon}''_{\max} \cdot 10^{-3}$	standardna deviacija $\cdot 10^{-3}$
1A	22,66	22,55	22,77	22,66	0,11
2A	23,63	23,85	23,73	23,74	0,11
3A	27,33	27,36	27,33	27,34	0,02
4A	35,95	36,05	36,00	36,00	0,05
5A	38,28	38,25	38,33	38,29	0,04
6A	48,57	48,90	48,74	48,73	0,16
7A	61,38	61,75	61,65	61,59	0,19
8A	67,97	68,18	68,38	68,18	0,21
9A	70,99	72,15	72,36	71,83	0,73
1B	25,59	25,74	/	25,67	0,11
2B	26,38	26,26	26,46	26,37	0,10
3B	26,72	26,72	/	26,72	0,01
4B	27,68	27,78	27,79	27,75	0,06
5B	28,59	28,77	/	28,68	0,13
6B	30,52	30,43	/	30,47	0,07
7B	35,49	35,45	/	35,47	0,02
8B	36,83	36,85	/	36,84	0,01
9B	35,70	35,49	/	35,59	0,15

Pri sončničnem olju 1B je na začetku opazovanja ϵ''_{\max} 0,026 in je primerljiva vrednosti 0,024 za ne starano oleinsko sončnično olje, ki ga je izmerila pri 2 MHz in 20 °C Prevc (2010).

4.4.4.1 Vpliv peroksidnega števila na ϵ''_{\max}



Slika 31: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{\max}) v odvisnosti od peroksidnega števila ($P\check{S}$) za vzorce olja A in B.

Na sliki 31 je prikazana odvisnost faktorja dielektričnih izgub od peroksidnega števila za olji A in B, pri 20 °C. Faktor dielektričnih izgub narašča s $P\check{S}$ olja A v skladu s polinomom druge stopnje, med tem ko je za olje B omenjena odvisnost linearna. Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti so podani v preglednici 14. Pri vzorcu B smo dobili višji koeficient determinacije podatkov r^2 in manjše vrednosti napak.

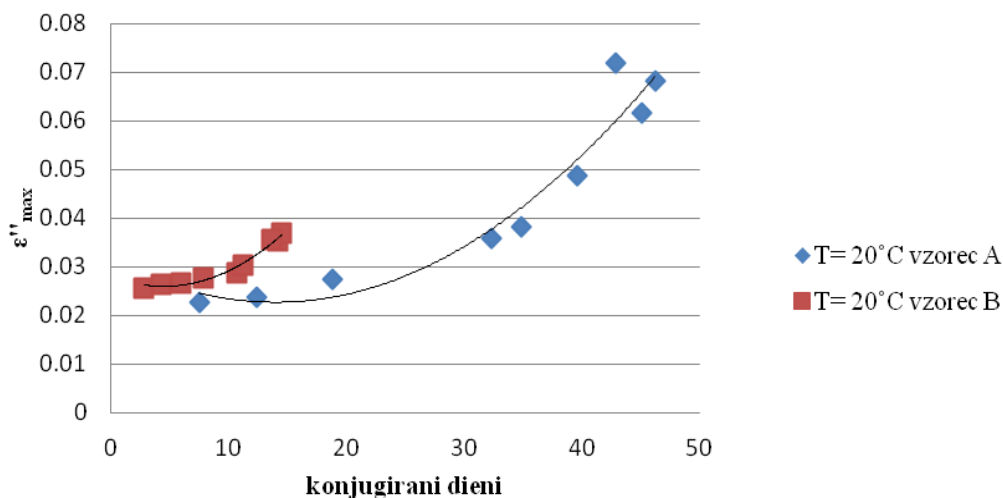
Pri oleinskem sončničnem olju opazimo izrazitejše povečevanje pri nižjih vrednostih $P\check{S}$. Iz slike 31 vidimo, da je pri $P\check{S}$ 40 faktor dielektričnih izgub vzorca A 0,022 in vzorca B 0,030. Pri vrednostih $P\check{S}$ števila nad 91, kjer se polinom in premica sekata, bi bil teoretično večji faktor izgub vzorca A. Če se peroksidno število poveča za 1, se faktor izgub pri vzorcu B za 0,00015.

Pri obeh vzorcih je torej opaziti, da se z naraščanjem $P\check{S}$, zvišuje tudi faktor dielektričnih izgub v frekvenčnem območju 1-2 MHz, kar so v svojem delu ugotovili tudi že Prevc (2010) in El-Shami in sod. (1992).

Preglednica 14: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube od peroksidnega števila za vzorce olja A in B.

	a	b	c	r^2
Olje A	$(2,82 \pm 0,73) \cdot 10^{-2}$	$-(3,2 \pm 2,1) \cdot 10^{-4}$	$(4,5 \pm 1,3) \cdot 10^{-6}$	0,9453
Olje B	$(2,452 \pm 0,024) \cdot 10^{-2}$	$(1,458 \pm 0,048) \cdot 10^{-4}$	/	0,9925

4.4.4.2 Vpliv konjugiranih dienov na ϵ''_{\max}



Slika 32: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{\max}) v odvisnosti od konjugiranih dienov za vzorce olja A in B.

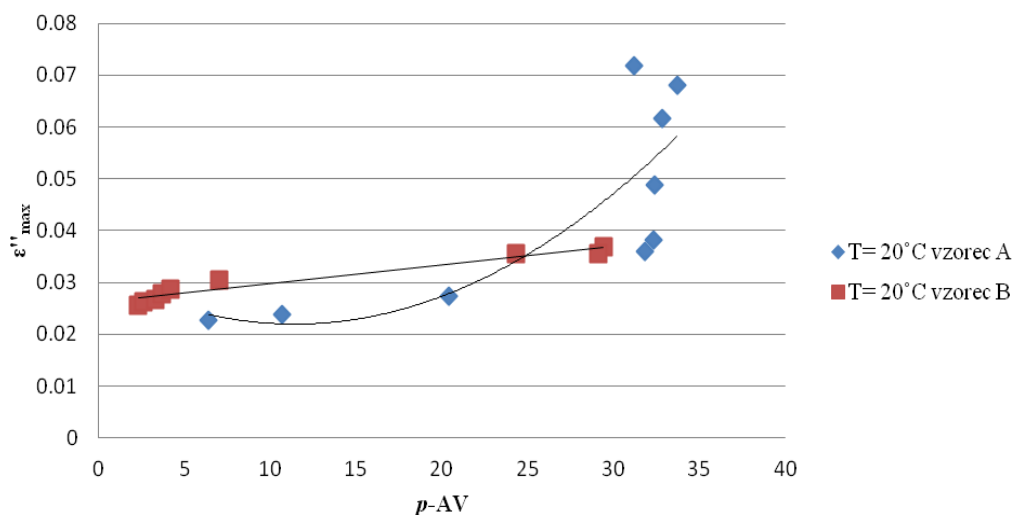
Na sliki 32 je prikazana odvisnost ϵ''_{\max} od konjugiranih dienov za vzorca olja A in B. Iz slike je razvidno, da ϵ''_{\max} za oba vzorca narašča z večanjem vsebnosti konjugiranih dienov v skladu s polinomom druge stopnje, pri čemer je naraščanje izrazitejše pri vzorcu B, ki ima tudi višje vrednosti regresijskih parametrov a , b in koeficient determinacije r^2 (preglednica 15). Vrednosti faktorja izgub so si najbližje pri najnižjih vrednostih konjugiranih dienov.

Preglednica 15: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube od konjugiranih dienov za vzorce olja A in B.

	a	b	c	r^2
Olje A	$(3,15 \pm 0,97) \cdot 10^{-2}$	$-(1,25 \pm 0,85) \cdot 10^{-3}$	$(4,5 \pm 1,5) \cdot 10^{-5}$	0,9284
Olje B	$(2,81 \pm 0,15) \cdot 10^{-2}$	$-(9,5 \pm 3,4) \cdot 10^{-4}$	$(1,06 \pm 0,22) \cdot 10^{-4}$	0,9735

4.4.4.3 Vpliv p -anizidinske vrednosti na faktor izgub ϵ''_{\max}

Na sliki 33 je prikazana odvisnost ϵ''_{\max} od p -anizidinske vrednosti, ki je za vzorec A polinomska in za B linearna. Z povečevanjem p -anizidinske vrednosti zaznamo tudi višje faktorje dielektričnih izgub pri obeh sončničnih oljih. Parametri funkcij in njihove statistične vrednosti pa so podani v preglednici 16. Pri vzorcu B je opazno večji r^2 , kar pomeni boljše prileganje podatkov in tudi napake so manjše. Večjo odvisnost faktorja izgub je opaziti pri olju A, kar pokaže tudi višji parameter b . Če se p -AV poveča za 1, naraste faktor dielektričnih izgub pri vzorcu A za 0,0014. Olja imata pri p -AV 24,8 enak faktor izgub, ki v tem primeru znaša 0,0351.

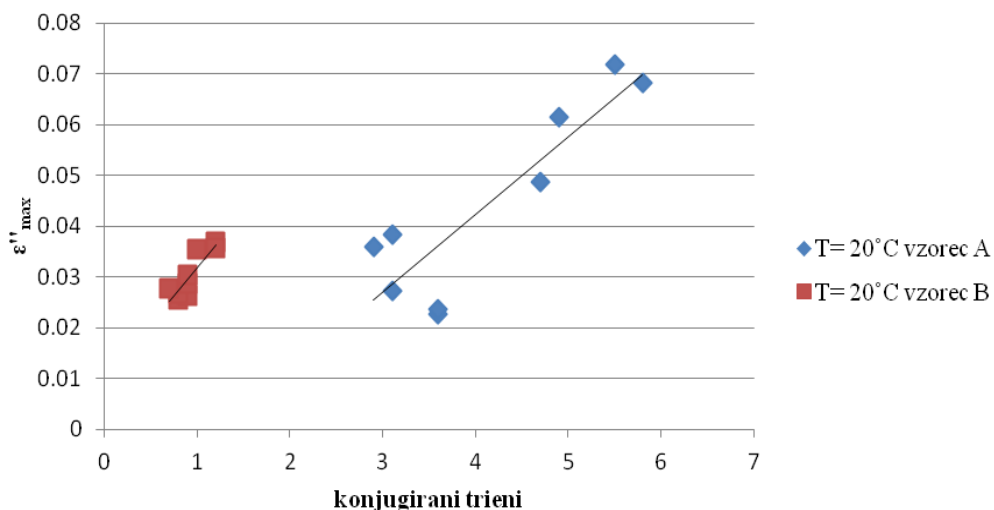


Slika 33: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{\max}) odvisnosti od p -anizidinske vrednosti (p -AV) za vzorce olja A in B.

Preglednica 16: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od p -anizidinske vrednosti, za vzorce olja A in B.

	a	b	c	r^2
Olje A	$(3,2 \pm 2,9) \cdot 10^{-2}$	$-(1,7 \pm 3,6) \cdot 10^{-3}$	$(7,3 \pm 8,6) \cdot 10^{-5}$	0,6139
Olje B	$(2,619 \pm 0,053) \cdot 10^{-2}$	$(3,57 \pm 0,32) \cdot 10^{-4}$	/	0,9464

4.4.4.4 Vpliv konjugiranih trienov na faktor izgub ϵ''_{\max}



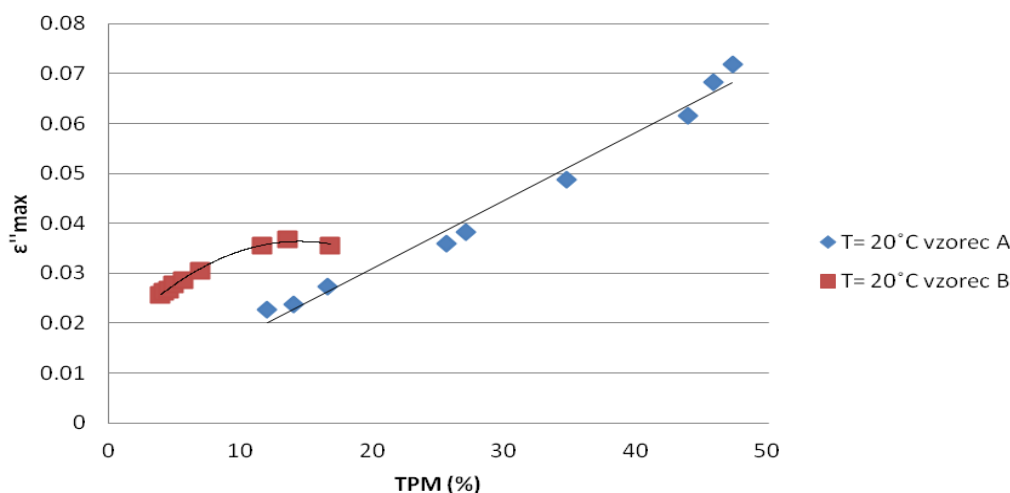
Slika 34: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{\max}) v odvisnosti od konjugiranih trienov za vzorce olja A in B.

Na sliki 34 je predstavljena odvisnost faktorja dielektričnih izgub od konjugiranih trienov. Tudi ta odvisnost kaže pozitiven linearni trend pri obeh vzorcih. Kot vidimo, so pri vzorcih olja A vrednosti konjugiranih trienov in ϵ''_{\max} v precej manjšem območju kot pri vzorcu B. Iz preglednice 17 vidimo, da ima vzorec B višji naklon b, kar nakazuje, da se s povečanjem konjugiranih dienov faktor izgub pri njem bolj spreminja. Če povečamo vrednost konjugiranih trienov za 1, se ϵ''_{\max} pri olju A spremeni za 0,015 in pri olju B za 0,022.

Preglednica 17: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od konjugiranih trienov, za vzorce olja A in B.

	a	b	r^2
Olje A	$-(1,9 \pm 1,3) \cdot 10^{-2}$	$(1,53 \pm 0,31) \cdot 10^{-2}$	0,7817
Olje B	$(9,5 \pm 4,4) \cdot 10^{-3}$	$(2,24 \pm 0,46) \cdot 10^{-2}$	0,7685

4.4.5 Vpliv TPM vrednosti na faktor izgub ϵ''_{\max}



Slika 35: Faktor dielektričnih izgub (ϵ''_{\max}) v odvisnosti od celokupnih polarnih snovi (TPM) za vzorce olja A in B.

Na sliki 35 je grafično predstavljena odvisnost faktorja izgub od TPM vrednosti in sicer pri vzorcu A je ta zveza linearna, pri B pa zavzame obliko polinoma. Z naraščajočo polarnostjo raste tudi faktor izgub, kar je v skladu s podatki v literaturi (El-Shami in sod., 1992). Parametri funkcij in njihove statistične vrednosti so podani v preglednici 18. Pri obeh vzorcih je r^2 blizu 1, parametra a in b pa imata manjše napake pri vzorcu A.

Preglednica 18: Parametri funkcije in njihove statistične vrednosti za opis odvisnosti faktorja dielektrične izgube ϵ''_{\max} od TPM vrednosti, za vzorce olja A in B.

	a	b	c	r^2
Olje A	$(3,8 \pm 2,1) \cdot 10^{-3}$	$(1,362 \pm 0,066) \cdot 10^{-3}$	/	0,9840
Olje B	$(1,628 \pm 0,067) \cdot 10^{-2}$	$(2,78 \pm 0,17) \cdot 10^{-3}$	$-(9,62 \pm 0,85) \cdot 10^{-5}$	0,9955

Če se vrednost TPM poveča za 1 % se faktor izgub pri A vzorcu spremeni za 0,0014. Ob upoštevanju parametrov funkcije (preglednica 18) znaša pri vrednosti TPM = 15 % izračunana vrednost faktorja dielektričnih izgub 0,024 pri vzorcu A in pri vzorcu B 0,036.

5 SKLEPI

- ✓ Maščobno kislinska sestava olj vpliva na dielektrično konstanto in faktor izgub, ki sta od začetka do konca oksidacije višja pri tipičnem sončničnem olju. Tudi primarni in sekundarni oksidacijski produkti, ter TPM vrednost dosežejo pri tipičnem sončničnem olju višje vrednosti.
- ✓ Dielektrični konstanti tipičnega in oleinskega sončničnega olja tekom oksidacije naraščata, ter kažeta podobno temperaturno in frekvenčno odvisnost. Med frekvencami 1000 Hz in 1 MHz je dosežen plato, najvišje vrednosti ϵ' so pri 20 °C in se s povišanjem temperature znižujejo.
- ✓ Faktor izgub pri vseh vzorcih doseže najvišjo vrednost pri najnižji temperaturi in frekvenci 2 MHz, ter se s povišanjem temperature znižuje. S časom inkubacije ϵ'' narašča in njegova maksimalna vrednost se je pri tipičnem sončničnem olju, povečala za 3,2-krat in pri oleinskem za 1,4-krat, od začetka do konca opazovanja.
- ✓ Pri obeh oljih kažejo oksidacijski produkti, ter TPM vrednost pozitiven, linearni oz. polinomski, trend naraščanja in najizrazitejšo odvisnost od dielektrične konstante in faktorja izgub pri 20 °C.

6 POVZETEK

V diplomskem delu smo spremljali oksidacijo tipičnega sončničnega olja (olje A) in oleinskega sončničnega olja (olje B), ki smo ju inkubirali v temi na 70 °C, v časovnem obdobju 31 dni. Periodično odvzetim vzorcem smo določali primarne (peroksidno število, konjugirani dieni) in sekundarne oksidacijske produkte (*p*-anizidinska vrednost, konjugirani trieni) ter z instrumentom Testo 270 polarne snovi. Skušali smo ugotoviti povezavo teh parametrov z dielektričnimi lastnostmi. Faktor izgub (ϵ'') in dielektrično konstanto (ϵ') smo merili pri 20, 25, 40 in 50 °C in to v frekvenčnem razponu od 100 Hz do 2 MHz.

Dielektrična konstanta s časom inkubacije olj narašča. Največje vrednosti določimo pri temperaturi meritve 20 °C. Le te se s povišanjem temperature do 50 °C znižujejo. Pri vzorcu 1A znaša povprečna ϵ' pri 20 °C 3,2053 in pri B 3,1041. Po končani inkubaciji olj ima še zmeraj večjo ϵ' vzorec 9A, kjer ta znaša 3,5640 pri 20 °C. Pri vzorcu 9B se ϵ' tudi poviša in to na 3,2046 pri 20 °C. Razlike v dielektrični konstanti so posledica različne maščobno kislinske sestave, olje z več oleinske kisline ima celoten čas inkubacije dielektrično konstanto nižjo.

Dielektrična konstanta vseh vzorcev olja je dosegla plato med 1000 Hz in 1 MHz in povprečje teh meritev, ki ga označimo z ϵ'_p , smo primerjali s stopnjo oksidacije rastlinskega olja.

Peroksidno število (*PŠ*) je med inkubacijo pri olju A naraščalo od vrednosti 15,6 mmol O₂/kg do 136,8 mmol O₂/kg. Njegovo ujemanje z ϵ'_p smo opisali s polinomom druge stopnje. *PŠ* vzorcev oleinskega tipa pa je od začetne vrednosti 4,2 mmol O₂/kg doseglo maksimum 28. dan oksidacije z 81,18 mmol O₂/kg. Za to olje je zveza *PŠ* z ϵ'_p linearna z največjim smernim parameter premice pri temperaturi meritve 20 °C. Za vse vzorce olja pa je koeficient determinacije r^2 0,96.

Konjugirani dieni so se med inkubacijo olja povečali do vrednosti 46,2 pri tipičnem in do 14,5 pri oleinskem sončničnem olju. Njihovo odvisnost od ϵ'_p smo za vse vzorce opisali s polinomom druge stopnje z najizrazitejšo odvisnostjo za oba olja pri 20 °C. Pri tipičnem sončničnem olju opazimo večje povišanje dielektrične konstante z naraščanjem konjugiranih dienov.

p-anizidinska vrednost (*p*-AV) se je med inkubacijo povečala od 6,4 do 33,7 pri olju A in od vrednosti 2,3 do 29,4 pri olju B, z doseženimi maksimalnimi vrednostmi na 28. dan inkubacije. Odvisnost ϵ'_p od *p*-AV smo pri obeh oljih opisali z enačbo premice, z največjim smernim parametrom *b* pri 20 °C. Če se pri tej temperaturi poveča *p*-AV za 1, naraste dielektrična konstanta vzorca A za 0,011 in B 0,0032. Pri tipičnem sončničnem olju je parameter *b* večji, kar pomeni večjo spremembo ϵ' ob naraščanju *p*-AV.

Konjugirani trieni dosežejo vrednosti med 2,9 in 5,8 pri navadnem sončničnem olju in pri oleinskem med 0,7 in 1,2. Z njihovim povečanjem opazimo tudi pozitivno linearno naraščanje ϵ'_p pri vseh vzorcih, ki pa je najizrazitejše pri najnižji temperaturi meritve in z višanjem do 50 °C pada. Tako je parameter *b* največji pri 20 °C in to pri oleinskem tipu

olju, kjer dielektrična konstanta intenzivneje narašča, kljub manjšim spremembam konjugiranih trienov. Ob povečanju vrednosti konjugiranih trienov za 1, pri najnižji temperaturi merjenja, se dielektrična konstanta spremeni za 0,10 pri A in 0,20 pri vzorcu B.

Celokupne polarne snovi (TPM) tekom inkubacije v obeh oljih naraščajo in dosežejo pri olju A maksimalno vrednost 47,3 % in pri B 16,8 %. S TPM vrednostjo se povečuje tudi ϵ'_p obeh vzorcev olja in tudi tukaj je najizrazitejša odvisnost pri najnižji temperaturi meritve 20 °C. Pri obeh vzorcih je linearna odvisnost, ki ima pri olju A višji r^2 , ter parameter b in kaže boljše prileganje. Višji parameter b pove, da je izrazitejše naraščanje dielektrične konstante s TPM pri olju A, pri katerem pa se je sicer TPM vrednost med inkubacijo spremenila v večjem obsegu. Ob povečanju TPM vrednosti za 1 se dielektrična konstanta vzorca A pri 20 °C poveča za 0,010 in B za 0,0079.

Krivulje, ki opišejo odvisnost faktorja dielektričnih izgub (ϵ'') od frekvence na logaritemsko podani skali, imajo za vse vzorce olj podobno obliko črke U. Oblika je najbolj simetrična pri temperaturi meritve 50 °C in izrazitejša pri vzorcu B. ϵ'' se je s časom oksidacije povečeval in te razlike so pri olju A še večje. Tako se je od tretjega do zadnjega dne inkubacije ϵ'' zvišal za 0,04917 pri A in 0,009928 pri olju B (pri temperaturi meritve 20 °C).

Za primerjavo z oksidacijskimi produkti smo izbrali največji faktor izgub, kjer so razlike največje. To je pri frekvenci 2 MHz in temperaturi meritve 20 °C, ki smo ga označili z ϵ''_{\max} . Ker je bila upornost sekundarni parameter merjenja, je pri faktorju izgub zaznati večji koeficient determinacije.

Faktor izgub z večanjem $P\dot{S}$ kaže pozitiven trend naraščanja, ki je še izrazitejši pri oleinskem olju. Zveza pri vzorcu A je linearna in pri B podana s polinomom druge stopnje. Pri vrednosti $P\dot{S}$ nad 91 mmol O₂/kg, kjer se polinom in premica sekata, pa bi teoretično bil višji ϵ'' tipičnega sončničnega olja.

S konjugiranimi dieni se faktor izgub polinomsko povečuje pri obeh vzorcih, izrazitejša odvisnost je pri olju B, ki ima tudi višje vrednosti regresijskih parametrov a in b.

Naraščanje faktorja dielektričnih izgub glede na p -AV lahko za vzorec A opišemo z enačbo premice in B s polinomom. Pri p -AV 16,9 se sekata in takrat imata vzorca faktor izgub enak in znaša 0,0322.

Naraščanje vrednosti konjugiranih trienov ima za posledico višanje faktorja izgub. Zveza je linearna in če povečamo vrednost konjugiranih trienov za 1 se ϵ''_{\max} pri olju A poveča za 0,015 in pri B za 0,022.

Polarne snovi tekom oksidacije naraščajo z naraščanjem ϵ''_{\max} . To zvezo pri olju A opiše enačba premice in pri B polinom druge stopnje. Izrazitejšo odvisnost opazimo pri vzorcu B.

7 VIRI

- Abraham G., Hron R. J. 1992. Oilseeds and their oils. V: Encyclopedia of food science and technology. Vol. 3. Hui Y.H. (ed). New York, J. Wiley & Sons: 1901-1910
- Agilent Technologies 2006. Agilent E4980A Precision LCR meter 20 Hz to 2 MHz data sheet. Kobe, Agilent Technologies: 36 str.
- Agilent Technologies. 2000. Agilent 16452A Liquid test fixture operation and service manual. 3rd ed. Kobe, Agilent Technologies: 48 str.
- Ahmed J., Ramaswamy H. S., Raghavan G. S. V. 2007. Dielectric properties of butter in the MW frequency range as affected by salt and temperature. Journal of Food Engineering, 82: 351-358
- Belitz H. D., Grosch W. 1999. Food chemistry. 2nd ed. Berlin, Springer: 152-154, 160-161
- Bezzi S., Loupassaki S., Petrakis C., Kefalas P., Calokerinos A. 2008. Evaluation of peroxide value of olive oil and antioxidant activity by luminol chemiluminescence. Talanta, 77: 642-646
- Chopra H. K., Panesar P. S., Singh P. 2010. Food chemistry. Oxford., Alpha Science International Ltd.: 73-121
- Datta A. K., Sumnu G., Raghavan G. S. V. 2005. Dielectric properties of foods. V: Engineering properties of foods. 3rd ed. Rao M. A., Rizvi. S. S. H., Datta A.K (eds.). New York, Taylor & Francis: 501-565
- El-Shami S. M., Zaki Solim I., El-Anwar I.M., Hassan El-Mallah M. 1992. Dielectric properties for monitoring the quality of heated oils. Journal of the American Oil Chemists' Society, 69: 872-875
- Gray J. I. 1985. Simple chemical and physical methods for measuring flavor quality of fats and oils. V: Flavor chemistry of fats and oils. Min B. D., Smouse H. T. (eds.). Champaign, American Oil Chemists' Society: 225-227
- Guillen M. D., Uriarte P. S. 2011. A very simple, fast, and non-destructive approach to predict the time at which edible oils submitted to high temperature reach the established limits of safety. Food Chemistry, 127, 2: 802-806
- Hein M., Henning H., Isengard H. D. 1998. Determination of total polar parts with new methods for the quality survey of frying fats and oils. Talanta, 47: 447-454
- Inoue C., Hagura Y., Ishikawa M., Suzuki K. 2002. The dielectric property of soybean oil in deep-fat frying and the effect of frequency. Journal of Food Science, 67, 3: 1126-1129

- ISO 3656. Animal and vegetable fats and oils– Determination of ultraviolet absorbance. 2nd ed. 1989: 2 str.
- Kardash-Strochkova E., Tur'yan YI., Kuselman I. 2001. Redox-potentiometric determination of peroxide value in edible oils without titration. *Talanta*, 54: 411-416
- Kiritsakis A. K., Kiritsakis P., Lenart E. B., Willet W. C., Hernandez R. J. 1998. Olive oil: from the tree to the table. 2nd ed. Trumbull, Food & Nutrition Press: 155-159
- Košmelj K. 2007. Uporabna statistika. 2 izd. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 65-65, 145-147, 150-150
http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2721/Uporabna_statistika_okt_2007/Uporabna_statistika_01.pdf
(maj 2012)
- Lizhi H., Toyoda K., Ihara I. 2008. Dielectric properties of edible oils and fatty acids as a function of frequency, temperature, moisture and composition. *Journal of Food Engineering*, 88: 151-158
- Lizhi H., Toyoda K., Ihara I. 2010. Discrimination of olive oil adulterated with vegetable oils using dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 96: 167-171
- Marmesat S., Morales A., Velasco J., Ruiz-Mendez M. V., Dobarganes M.C. 2009. Relationship between changes in peroxide value and conjugated dienes during oxidation of sunflower oils with different degree of unsaturation. *Grasas y Aceites*, 30, 2: 155-160
- Matijašević-Oštrič B., Turkulov J. 1980. Tehnologija ulja i masti. 1.deo. Novi Sad, Tehnološki fakultet: 230-231
- O'Brien R. D. 2004. Fats and oils, formulating and processing for applications. 2nd ed. New York, CRC Press: 23-28
- Paquot C., Hautfenne A. 1987. Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. 7th ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications: 199-211
- Perkins E. G. 1991. Analyses of fats, oils and lipoproteins. Champaign, American Oil Chemists' Society: 1, 10-12
- Pravilnik o kakovosti jedilnih rastlinskih olj, jedilnih rastlinskih masteh in majonezi. 2003. Uradni list Republike Slovenije, 13,122: 16814-16814
- Prevc T. 2010. Povezava dielektrične konstante in maščobnih števil modelnih lipidnih sistemov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 78 str.

- Rudan-Tasič D., Klofutar C. 1999. Characteristics of vegetable oils of some slovene manufacturers. *Acta Chimica Slovenica*, 46, 4: 511-521
- Shahidi F., Wanasundara U. N. 2008. Methods of measuring oxidative rancidity in fats and oils. V: *Food lipids, chemistry, nutrition and biotechnology*. Akoh C. C., Min D. B. (eds.). 3rd ed. New York, CRC Press: 377-384
- Sosa-Morales M. E., Valerio-Junco L., Lopez-Malo A., Garcia H. S. 2010. Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. *LWT-Food Science and Technology*, 43: 1169-1179
- Sunflower statistic: World supply and disappearance. 2011. Mandan, National Sunflower Association: 5 str.
<http://www.sunflowernsa.com/stats/world-supply/> (november 2011)
- Swern D. 1972. Industrijski proizvodi ulja i masti po Baileyu. Zagreb, Znanje: 161-161
- Testo 270-Tester olja za cvrtje. 2011. Dobrova, Komplast d.o.o.: 30 str. (Navodila za uporabo)
- White J. P. 1995. Conjugated diene, anisidine value, and carbonyl value analyses. V: *Methods to assess quality and stability of oils and fat-containing foods*. Warner K., Eskin M. N. A. (eds.). Champaign, American Oil Chemists' Society: 159-177
- Wrolstad R. E., Decker E. A., Schwatz S. J., Sporns P. 2005. *Handbook of food analytical chemistry: water, proteins, enzymes, lipids, and carbohydrates*. Wrolstad R. E. (ed.). Hoboken, J. Wiley & Son: 523-524
- Yildiz G., Wehling R. L., Cuppett S. L. 2003. Comparison of four analytical methods for the determination of peroxide value in oxidized soybean oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80: 103- 107

ZAHVALA

Za strokovno vodenje se zahvaljujem mentorici prof. dr. Heleni Abramovič s Katedre za biokemijo in kemijo živil na Biotehniški fakulteti.

Za vse nasvete in pomoč se zahvaljujem somentorici doc. dr. Nataši Šegatin s Katedre za biokemijo in kemijo živil na Biotehniški fakulteti.

Za recenzije se zahvaljujem prof. dr. Rajku Vidrihu s Katedre za tehnologije, prehrano in vino na Biotehniški fakulteti.

Iskrena zahvala za potrpežljivost in materialno podporo tekom študija gre staršema in stari mami. Za spodbudo hvala tudi Karmen, Jankotu, Lidiji.

Za oporo in vero vame hvala Marku.

Ne nazadnje gre zahvala za nepozabna študentska leta tudi Tinkari, Valentini in Viki.

Hvala tudi vsem ostalim.

PRILOGE

Priloga A: Kapacitivnost zraka v odvisnosti od frekvence, pri temperaturah merjenja 20, 25, 40 in 50 °C.

f (kHz)	Cp·10 ¹¹ (F)			
	T=20 °C	T=25 °C	T=40 °C	T=50 °C
0,1	3,2473	3,2363	3,2273	3,2212
0,2	3,2439	3,2350	3,2241	3,2190
0,3	3,2433	3,2340	3,2235	3,2177
0,4	3,2403	3,2313	3,2207	3,2152
0,5	3,2398	3,2307	3,2202	3,2145
0,6	3,2404	3,2313	3,2209	3,2152
0,7	3,2407	3,2317	3,2211	3,2155
0,8	3,2405	3,2314	3,2209	3,2153
0,9	3,2402	3,2312	3,2207	3,2150
1	3,2416	3,2325	3,2220	3,2163
2	3,2410	3,2319	3,2215	3,2158
3	3,2414	3,2323	3,2219	3,2162
4	3,2413	3,2323	3,2218	3,2161
5	3,2417	3,2326	3,2222	3,2165
6	3,2415	3,2324	3,2220	3,2162
7	3,2415	3,2324	3,2220	3,2163
8	3,2416	3,2325	3,2220	3,2163
9	3,2415	3,2324	3,2220	3,2162
10	3,2415	3,2324	3,2219	3,2162
20	3,2415	3,2324	3,2219	3,2162
30	3,2414	3,2324	3,2219	3,2162
40	3,2415	3,2324	3,2220	3,2162
50	3,2415	3,2324	3,2219	3,2162
60	3,2412	3,2321	3,2217	3,2160
70	3,2413	3,2322	3,2218	3,2160
80	3,2414	3,2323	3,2218	3,2161
90	3,2412	3,2322	3,2217	3,2160
100	3,2412	3,2321	3,2217	3,2160
200	3,2412	3,2322	3,2217	3,2160
300	3,2412	3,2322	3,2217	3,2160
400	3,2413	3,2322	3,2217	3,2160
500	3,2411	3,2321	3,2217	3,2160
600	3,2411	3,2320	3,2216	3,2159
700	3,2411	3,2320	3,2216	3,2159
800	3,2410	3,2319	3,2215	3,2158
900	3,2410	3,2320	3,2215	3,2159
1000	3,2410	3,2320	3,2216	3,2159
1100	3,2411	3,2321	3,2217	3,2160
1200	3,2409	3,2319	3,2214	3,2158
1300	3,2410	3,2319	3,2215	3,2159
1400	3,2408	3,2318	3,2214	3,2157
1500	3,2411	3,2321	3,2217	3,2160
1600	3,2410	3,2320	3,2216	3,2159
1700	3,2413	3,2323	3,2219	3,2162
1800	3,2409	3,2319	3,2215	3,2159
1900	3,2412	3,2322	3,2218	3,2161
2000	3,2413	3,2322	3,2218	3,2162

Priloga B: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	3,1987	3,0707	3,2374	3,3179	3,3440	3,4228	3,5052	3,5398	3,5636
0,2	3,2019	3,0725	3,2409	3,3216	3,3482	3,4270	3,5106	3,5447	3,5686
0,3	3,2037	3,0745	3,2414	3,3234	3,3499	3,4286	3,5118	3,5463	3,5704
0,4	3,2065	3,0772	3,2445	3,3265	3,3532	3,4321	3,5152	3,5497	3,5738
0,5	3,2074	3,0783	3,2449	3,3273	3,3539	3,4327	3,5158	3,5504	3,5745
0,6	3,2070	3,0778	3,2443	3,3270	3,3536	3,4324	3,5156	3,5501	3,5742
0,7	3,2065	3,0775	3,2440	3,3265	3,3531	3,4318	3,5151	3,5496	3,5737
0,8	3,2068	3,0776	3,2443	3,3267	3,3533	3,4322	3,5153	3,5498	3,5739
0,9	3,2069	3,0778	3,2445	3,3268	3,3534	3,4323	3,5155	3,5500	3,5741
1	3,2060	3,0769	3,2431	3,3259	3,3526	3,4314	3,5145	3,5490	3,5732
2	3,2064	3,0773	3,2437	3,3263	3,3530	3,4318	3,5149	3,5494	3,5736
3	3,2060	3,0769	3,2433	3,3259	3,3525	3,4313	3,5144	3,5489	3,5730
4	3,2060	3,0769	3,2434	3,3258	3,3525	3,4312	3,5144	3,5489	3,5730
5	3,2057	3,0766	3,2430	3,3256	3,3522	3,4310	3,5141	3,5486	3,5728
6	3,2060	3,0768	3,2432	3,3258	3,3524	3,4312	3,5143	3,5488	3,5729
7	3,2059	3,0768	3,2432	3,3258	3,3524	3,4312	3,5143	3,5488	3,5729
8	3,2059	3,0768	3,2432	3,3257	3,3524	3,4311	3,5143	3,5488	3,5729
9	3,2060	3,0768	3,2432	3,3258	3,3524	3,4312	3,5143	3,5488	3,5729
10	3,2060	3,0769	3,2433	3,3258	3,3525	3,4312	3,5144	3,5489	3,5730
20	3,2059	3,0767	3,2433	3,3257	3,3524	3,4311	3,5142	3,5487	3,5728
30	3,2060	3,0768	3,2433	3,3258	3,3525	3,4311	3,5143	3,5487	3,5728
40	3,2058	3,0767	3,2433	3,3256	3,3523	3,4310	3,5141	3,5485	3,5725
50	3,2058	3,0767	3,2433	3,3256	3,3523	3,4310	3,5140	3,5484	3,5724
60	3,2060	3,0768	3,2436	3,3258	3,3525	3,4310	3,5140	3,5484	3,5724
70	3,2060	3,0768	3,2435	3,3258	3,3525	3,4311	3,5142	3,5485	3,5725
80	3,2059	3,0768	3,2434	3,3256	3,3523	3,4309	3,5138	3,5481	3,5720
90	3,2060	3,0768	3,2435	3,3257	3,3524	3,4310	3,5139	3,5482	3,5721
100	3,2061	3,0769	3,2435	3,3258	3,3525	3,4310	3,5139	3,5481	3,5720
200	3,2059	3,0767	3,2435	3,3254	3,3521	3,4303	3,5125	3,5463	3,5700
300	3,2057	3,0765	3,2435	3,3251	3,3517	3,4296	3,5112	3,5446	3,5679
400	3,2056	3,0764	3,2434	3,3247	3,3512	3,4286	3,5095	3,5426	3,5657
500	3,2060	3,0767	3,2436	3,3247	3,3510	3,4281	3,5084	3,5410	3,5639
600	3,2057	3,0765	3,2437	3,3242	3,3506	3,4272	3,5068	3,5390	3,5617
700	3,2056	3,0763	3,2437	3,3237	3,3501	3,4263	3,5053	3,5372	3,5597
800	3,2055	3,0762	3,2438	3,3233	3,3495	3,4254	3,5038	3,5354	3,5577
900	3,2053	3,0759	3,2437	3,3227	3,3489	3,4243	3,5022	3,5334	3,5555
1000	3,2050	3,0756	3,2437	3,3222	3,3483	3,4233	3,5006	3,5316	3,5534
1100	3,2049	3,0755	3,2436	3,3216	3,3476	3,4223	3,4990	3,5297	3,5514
1200	3,2047	3,0752	3,2438	3,3210	3,3470	3,4212	3,4974	3,5278	3,5493
1300	3,2046	3,0751	3,2438	3,3205	3,3464	3,4203	3,4961	3,5262	3,5477
1400	3,2044	3,0748	3,2439	3,3201	3,3459	3,4194	3,4945	3,5244	3,5457
1500	3,2039	3,0745	3,2436	3,3192	3,3451	3,4182	3,4929	3,5224	3,5435
1600	3,2039	3,0742	3,2437	3,3187	3,3444	3,4172	3,4913	3,5206	3,5416
1700	3,2035	3,0738	3,2434	3,3179	3,3435	3,4160	3,4897	3,5187	3,5396
1800	3,2036	3,0739	3,2438	3,3176	3,3432	3,4152	3,4885	3,5172	3,5379
1900	3,2030	3,0734	3,2435	3,3165	3,3420	3,4137	3,4865	3,5150	3,5355
2000	3,2026	3,0730	3,2435	3,3158	3,3413	3,4126	3,4849	3,5132	3,5336
st. dev.	0,0015	0,0015	0,0011	0,0031	0,0035	0,0058	0,0093	0,0114	0,0126

Priloga C: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	3,1775	3,0516	3,2231	3,2952	3,3231	3,3972	3,4760	3,5119	3,5361
0,2	3,1782	3,0515	3,2238	3,2962	3,3246	3,3985	3,4787	3,5148	3,5386
0,3	3,1807	3,0542	3,2260	3,2988	3,3267	3,4007	3,4810	3,5166	3,5408
0,4	3,1833	3,0565	3,2288	3,3016	3,3295	3,4036	3,4840	3,5196	3,5439
0,5	3,1844	3,0577	3,2298	3,3026	3,3305	3,4046	3,4849	3,5205	3,5448
0,6	3,1838	3,0572	3,2294	3,3022	3,3301	3,4042	3,4845	3,5201	3,5444
0,7	3,1835	3,0568	3,2289	3,3016	3,3296	3,4036	3,4839	3,5195	3,5438
0,8	3,1836	3,0570	3,2291	3,3019	3,3298	3,4039	3,4842	3,5198	3,5441
0,9	3,1837	3,0572	3,2292	3,3020	3,3299	3,4040	3,4844	3,5200	3,5443
1	3,1829	3,0564	3,2284	3,3012	3,3291	3,4031	3,4835	3,5191	3,5434
2	3,1833	3,0567	3,2288	3,3015	3,3294	3,4035	3,4839	3,5194	3,5438
3	3,1829	3,0564	3,2284	3,3011	3,3290	3,4030	3,4834	3,5189	3,5432
4	3,1828	3,0563	3,2283	3,3010	3,3289	3,4030	3,4833	3,5189	3,5432
5	3,1825	3,0560	3,2280	3,3008	3,3287	3,4027	3,4831	3,5186	3,5429
6	3,1828	3,0563	3,2283	3,3010	3,3289	3,4029	3,4833	3,5188	3,5431
7	3,1827	3,0562	3,2282	3,3009	3,3288	3,4029	3,4832	3,5188	3,5431
8	3,1827	3,0562	3,2282	3,3009	3,3288	3,4029	3,4832	3,5188	3,5431
9	3,1828	3,0562	3,2283	3,3010	3,3289	3,4029	3,4833	3,5188	3,5431
10	3,1828	3,0563	3,2283	3,3011	3,3289	3,4030	3,4833	3,5189	3,5431
20	3,1827	3,0562	3,2282	3,3009	3,3288	3,4029	3,4832	3,5187	3,5430
30	3,1827	3,0562	3,2283	3,3010	3,3288	3,4029	3,4832	3,5187	3,5430
40	3,1826	3,0561	3,2281	3,3009	3,3287	3,4028	3,4831	3,5186	3,5428
50	3,1826	3,0561	3,2281	3,3008	3,3287	3,4028	3,4830	3,5185	3,5428
60	3,1827	3,0563	3,2283	3,3010	3,3289	3,4029	3,4831	3,5185	3,5427
70	3,1828	3,0563	3,2283	3,3011	3,3289	3,4030	3,4832	3,5187	3,5429
80	3,1827	3,0563	3,2282	3,3009	3,3287	3,4027	3,4829	3,5183	3,5425
90	3,1827	3,0563	3,2283	3,3010	3,3288	3,4028	3,4830	3,5185	3,5426
100	3,1828	3,0563	3,2283	3,3011	3,3289	3,4029	3,4830	3,5185	3,5426
200	3,1827	3,0562	3,2282	3,3008	3,3286	3,4023	3,4821	3,5173	3,5412
300	3,1825	3,0560	3,2280	3,3005	3,3283	3,4019	3,4812	3,5161	3,5398
400	3,1825	3,0560	3,2279	3,3003	3,3280	3,4013	3,4801	3,5147	3,5383
500	3,1828	3,0562	3,2282	3,3004	3,3281	3,4010	3,4793	3,5136	3,5370
600	3,1826	3,0561	3,2279	3,3000	3,3276	3,4003	3,4782	3,5123	3,5355
700	3,1825	3,0559	3,2278	3,2998	3,3273	3,3998	3,4772	3,5110	3,5340
800	3,1825	3,0559	3,2277	3,2994	3,3270	3,3991	3,4761	3,5097	3,5326
900	3,1823	3,0557	3,2275	3,2991	3,3265	3,3984	3,4749	3,5082	3,5310
1000	3,1821	3,0555	3,2272	3,2987	3,3261	3,3977	3,4738	3,5069	3,5295
1100	3,1820	3,0554	3,2270	3,2982	3,3256	3,3969	3,4726	3,5054	3,5279
1200	3,1819	3,0552	3,2269	3,2979	3,3252	3,3962	3,4715	3,5040	3,5264
1300	3,1820	3,0552	3,2268	3,2975	3,3248	3,3955	3,4705	3,5029	3,5252
1400	3,1817	3,0550	3,2265	3,2973	3,3245	3,3950	3,4695	3,5016	3,5237
1500	3,1814	3,0549	3,2260	3,2966	3,3238	3,3941	3,4683	3,5001	3,5222
1600	3,1815	3,0546	3,2260	3,2964	3,3235	3,3934	3,4671	3,4988	3,5207
1700	3,1812	3,0542	3,2257	3,2958	3,3229	3,3925	3,4659	3,4974	3,5192
1800	3,1814	3,0546	3,2258	3,2957	3,3227	3,3921	3,4651	3,4964	3,5181
1900	3,1809	3,0541	3,2251	3,2949	3,3218	3,3909	3,4635	3,4947	3,5162
2000	3,1807	3,0538	3,2248	3,2944	3,3212	3,3901	3,4624	3,4933	3,5148
st. dev.	0,0012	0,0012	0,0014	0,0022	0,0024	0,0040	0,0066	0,0081	0,0090

Priloga D: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	3,1074	3,0024	3,1515	3,2225	3,2471	3,3143	3,3872	3,4233	3,4454
0,2	3,1097	3,0034	3,1532	3,2258	3,2497	3,3181	3,3910	3,4271	3,4503
0,3	3,1118	3,0057	3,1553	3,2276	3,2515	3,3200	3,3927	3,4290	3,4518
0,4	3,1144	3,0080	3,1580	3,2304	3,2543	3,3229	3,3958	3,4321	3,4550
0,5	3,1154	3,0091	3,1590	3,2312	3,2552	3,3238	3,3966	3,4329	3,4558
0,6	3,1149	3,0086	3,1585	3,2308	3,2548	3,3233	3,3961	3,4325	3,4553
0,7	3,1146	3,0084	3,1582	3,2303	3,2543	3,3229	3,3957	3,4320	3,4548
0,8	3,1147	3,0084	3,1583	3,2305	3,2545	3,3231	3,3959	3,4322	3,4551
0,9	3,1149	3,0087	3,1585	3,2307	3,2546	3,3232	3,3960	3,4323	3,4552
1	3,1140	3,0078	3,1576	3,2297	3,2537	3,3223	3,3952	3,4314	3,4543
2	3,1143	3,0081	3,1579	3,2301	3,2541	3,3227	3,3955	3,4318	3,4546
3	3,1139	3,0077	3,1575	3,2297	3,2537	3,3222	3,3950	3,4312	3,4541
4	3,1139	3,0077	3,1575	3,2296	3,2536	3,3222	3,3950	3,4312	3,4541
5	3,1136	3,0075	3,1572	3,2294	3,2534	3,3219	3,3947	3,4310	3,4538
6	3,1138	3,0077	3,1575	3,2296	3,2536	3,3221	3,3949	3,4312	3,4540
7	3,1138	3,0076	3,1574	3,2295	3,2535	3,3221	3,3949	3,4311	3,4540
8	3,1137	3,0076	3,1574	3,2295	3,2535	3,3221	3,3949	3,4311	3,4540
9	3,1138	3,0077	3,1574	3,2296	3,2536	3,3221	3,3949	3,4312	3,4540
10	3,1138	3,0077	3,1575	3,2296	3,2536	3,3221	3,3950	3,4313	3,4541
20	3,1137	3,0076	3,1574	3,2295	3,2536	3,3220	3,3949	3,4311	3,4540
30	3,1138	3,0077	3,1574	3,2296	3,2536	3,3221	3,3949	3,4312	3,4540
40	3,1136	3,0075	3,1573	3,2295	3,2535	3,3220	3,3948	3,4310	3,4539
50	3,1136	3,0075	3,1573	3,2294	3,2535	3,3219	3,3948	3,4310	3,4539
60	3,1138	3,0077	3,1575	3,2296	3,2536	3,3221	3,3949	3,4311	3,4540
70	3,1138	3,0077	3,1575	3,2297	3,2537	3,3222	3,3950	3,4312	3,4541
80	3,1138	3,0077	3,1575	3,2295	3,2536	3,3220	3,3948	3,4310	3,4538
90	3,1138	3,0077	3,1575	3,2296	3,2536	3,3221	3,3949	3,4311	3,4539
100	3,1138	3,0077	3,1575	3,2263	3,2537	3,3221	3,3949	3,4312	3,4540
200	3,1137	3,0076	3,1574	3,2261	3,2535	3,3219	3,3946	3,4307	3,4534
300	3,1136	3,0075	3,1573	3,2259	3,2533	3,3217	3,3943	3,4303	3,4530
400	3,1137	3,0076	3,1573	3,2260	3,2534	3,3216	3,3939	3,4299	3,4525
500	3,1138	3,0077	3,1575	3,2262	3,2536	3,3217	3,3938	3,4297	3,4522
600	3,1138	3,0077	3,1574	3,2259	3,2534	3,3214	3,3935	3,4292	3,4517
700	3,1138	3,0077	3,1573	3,2259	3,2532	3,3212	3,3931	3,4288	3,4512
800	3,1138	3,0077	3,1574	3,2258	3,2532	3,3210	3,3928	3,4283	3,4506
900	3,1137	3,0075	3,1572	3,2257	3,2530	3,3208	3,3923	3,4277	3,4499
1000	3,1136	3,0074	3,1571	3,2254	3,2527	3,3204	3,3918	3,4271	3,4493
1100	3,1136	3,0075	3,1571	3,2253	3,2526	3,3201	3,3913	3,4265	3,4486
1200	3,1135	3,0074	3,1570	3,2253	3,2525	3,3199	3,3909	3,4259	3,4480
1300	3,1137	3,0075	3,1572	3,2252	3,2525	3,3197	3,3905	3,4255	3,4475
1400	3,1136	3,0075	3,1570	3,2251	3,2523	3,3196	3,3902	3,4251	3,4470
1500	3,1135	3,0073	3,1568	3,2247	3,2519	3,3190	3,3896	3,4243	3,4462
1600	3,1135	3,0072	3,1569	3,2248	3,2520	3,3189	3,3892	3,4239	3,4456
1700	3,1133	3,0071	3,1565	3,2245	3,2516	3,3185	3,3886	3,4232	3,4449
1800	3,1137	3,0075	3,1570	3,2248	3,2519	3,3186	3,3885	3,4230	3,4447
1900	3,1134	3,0073	3,1566	3,2243	3,2514	3,3179	3,3876	3,4220	3,4436
2000	3,1133	3,0071	3,1565	3,2240	3,2510	3,3176	3,3871	3,4215	3,4430
st. dev.	0,0012	0,0011	0,0012	0,0024	0,0014	0,0019	0,0026	0,0032	0,0036

Priloga E: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	3,0644	2,9800	3,1075	3,1779	3,1964	3,2637	3,3336	3,3688	3,3866
0,2	3,0652	2,9803	3,1089	3,1798	3,1977	3,2665	3,3359	3,3719	3,3894
0,3	3,0681	2,9831	3,1113	3,1822	3,2007	3,2689	3,3387	3,3742	3,3916
0,4	3,0702	2,9852	3,1137	3,1847	3,2031	3,2715	3,3414	3,3769	3,3945
0,5	3,0715	2,9864	3,1148	3,1857	3,2043	3,2725	3,3424	3,3779	3,3954
0,6	3,0708	2,9858	3,1143	3,1853	3,2037	3,2720	3,3419	3,3774	3,3949
0,7	3,0706	2,9856	3,1140	3,1849	3,2033	3,2716	3,3415	3,3769	3,3945
0,8	3,0707	2,9856	3,1141	3,1851	3,2035	3,2717	3,3417	3,3772	3,3947
0,9	3,0710	2,9859	3,1143	3,1853	3,2037	3,2719	3,3418	3,3773	3,3948
1	3,0702	2,9852	3,1135	3,1844	3,2028	3,2711	3,3410	3,3765	3,3940
2	3,0705	2,9854	3,1138	3,1847	3,2032	3,2714	3,3413	3,3768	3,3943
3	3,0701	2,9851	3,1134	3,1844	3,2028	3,2710	3,3409	3,3764	3,3938
4	3,0700	2,9850	3,1134	3,1843	3,2027	3,2709	3,3408	3,3763	3,3938
5	3,0698	2,9847	3,1131	3,1840	3,2024	3,2706	3,3405	3,3760	3,3935
6	3,0700	2,9850	3,1134	3,1843	3,2027	3,2709	3,3408	3,3763	3,3937
7	3,0700	2,9849	3,1133	3,1842	3,2026	3,2708	3,3407	3,3762	3,3937
8	3,0699	2,9849	3,1132	3,1842	3,2026	3,2708	3,3407	3,3762	3,3937
9	3,0700	2,9850	3,1133	3,1843	3,2027	3,2709	3,3408	3,3763	3,3937
10	3,0700	2,9850	3,1133	3,1842	3,2027	3,2708	3,3408	3,3763	3,3937
20	3,0699	2,9849	3,1133	3,1841	3,2026	3,2707	3,3407	3,3762	3,3936
30	3,0700	2,9849	3,1133	3,1842	3,2026	3,2708	3,3407	3,3762	3,3936
40	3,0698	2,9848	3,1132	3,1841	3,2025	3,2706	3,3406	3,3761	3,3935
50	3,0699	2,9848	3,1131	3,1840	3,2025	3,2706	3,3406	3,3761	3,3935
60	3,0700	2,9850	3,1133	3,1842	3,2027	3,2708	3,3408	3,3762	3,3936
70	3,0700	2,9849	3,1133	3,1843	3,2027	3,2708	3,3408	3,3763	3,3937
80	3,0700	2,9849	3,1133	3,1842	3,2026	3,2707	3,3406	3,3761	3,3935
90	3,0700	2,9850	3,1133	3,1842	3,2026	3,2707	3,3407	3,3762	3,3936
100	3,0700	2,9850	3,1133	3,1842	3,2027	3,2708	3,3407	3,3762	3,3936
200	3,0699	2,9849	3,1132	3,1841	3,2026	3,2706	3,3405	3,3759	3,3933
300	3,0698	2,9848	3,1131	3,1840	3,2024	3,2705	3,3404	3,3758	3,3931
400	3,0699	2,9848	3,1132	3,1840	3,2024	3,2705	3,3402	3,3755	3,3928
500	3,0701	2,9850	3,1133	3,1842	3,2027	3,2707	3,3403	3,3754	3,3927
600	3,0701	2,9850	3,1133	3,1841	3,2026	3,2705	3,3401	3,3753	3,3925
700	3,0700	2,9850	3,1133	3,1840	3,2025	3,2704	3,3399	3,3751	3,3922
800	3,0701	2,9850	3,1133	3,1841	3,2025	3,2703	3,3397	3,3748	3,3919
900	3,0700	2,9848	3,1132	3,1839	3,2023	3,2701	3,3395	3,3745	3,3915
1000	3,0699	2,9847	3,1131	3,1838	3,2022	3,2699	3,3392	3,3742	3,3912
1100	3,0699	2,9848	3,1131	3,1838	3,2021	3,2698	3,3389	3,3738	3,3907
1200	3,0699	2,9848	3,1131	3,1837	3,2021	3,2697	3,3387	3,3735	3,3904
1300	3,0700	2,9849	3,1132	3,1838	3,2022	3,2696	3,3385	3,3732	3,3901
1400	3,0700	2,9849	3,1131	3,1837	3,2020	3,2695	3,3384	3,3731	3,3899
1500	3,0699	2,9848	3,1130	3,1834	3,2017	3,2691	3,3379	3,3727	3,3894
1600	3,0699	2,9846	3,1130	3,1835	3,2018	3,2692	3,3378	3,3724	3,3891
1700	3,0697	2,9846	3,1128	3,1833	3,2016	3,2688	3,3374	3,3719	3,3887
1800	3,0702	2,9850	3,1132	3,1837	3,2019	3,2691	3,3375	3,3720	3,3886
1900	3,0699	2,9849	3,1129	3,1832	3,2015	3,2686	3,3369	3,3712	3,3878
2000	3,0698	2,9846	3,1128	3,1831	3,2013	3,2683	3,3366	3,3709	3,3875
st. dev.	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012	0,0013	0,0014	0,0018	0,0020	0,0022

Priloga F: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	3,0986	3,1218	3,1269	3,1320	3,1290	3,1552	3,1879	3,2154	3,1991
0,2	3,1011	3,1241	3,1299	3,1351	3,1317	3,1586	3,1915	3,2189	3,2022
0,3	3,1028	3,1260	3,1316	3,1368	3,1331	3,1603	3,1935	3,2206	3,2043
0,4	3,1055	3,1289	3,1343	3,1397	3,1359	3,1633	3,1963	3,2237	3,2072
0,5	3,1064	3,1298	3,1353	3,1407	3,1369	3,1640	3,1972	3,2244	3,2080
0,6	3,1060	3,1294	3,1349	3,1402	3,1365	3,1637	3,1968	3,2240	3,2076
0,7	3,1057	3,1290	3,1345	3,1399	3,1361	3,1633	3,1964	3,2236	3,2072
0,8	3,1059	3,1292	3,1347	3,1400	3,1363	3,1635	3,1966	3,2238	3,2074
0,9	3,1060	3,1293	3,1348	3,1402	3,1364	3,1636	3,1967	3,2239	3,2075
1	3,1052	3,1285	3,1340	3,1393	3,1356	3,1628	3,1958	3,2231	3,2067
2	3,1055	3,1288	3,1344	3,1397	3,1360	3,1632	3,1962	3,2235	3,2071
3	3,1051	3,1285	3,1340	3,1393	3,1356	3,1628	3,1958	3,2231	3,2067
4	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2230	3,2066
5	3,1048	3,1281	3,1337	3,1390	3,1352	3,1624	3,1955	3,2228	3,2064
6	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2230	3,2066
7	3,1050	3,1283	3,1338	3,1392	3,1354	3,1626	3,1957	3,2229	3,2066
8	3,1049	3,1283	3,1338	3,1391	3,1354	3,1626	3,1957	3,2229	3,2066
9	3,1050	3,1283	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2229	3,2066
10	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1958	3,2230	3,2067
20	3,1049	3,1283	3,1338	3,1391	3,1354	3,1626	3,1956	3,2229	3,2066
30	3,1049	3,1283	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2230	3,2066
40	3,1048	3,1282	3,1337	3,1390	3,1353	3,1625	3,1955	3,2228	3,2065
50	3,1048	3,1281	3,1337	3,1390	3,1352	3,1625	3,1955	3,2227	3,2064
60	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2229	3,2066
70	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1355	3,1627	3,1957	3,2230	3,2067
80	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1354	3,1626	3,1956	3,2228	3,2066
90	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1354	3,1627	3,1957	3,2229	3,2066
100	3,1050	3,1284	3,1339	3,1392	3,1354	3,1627	3,1957	3,2229	3,2066
200	3,1049	3,1283	3,1338	3,1391	3,1354	3,1626	3,1955	3,2226	3,2064
300	3,1047	3,1281	3,1336	3,1388	3,1352	3,1624	3,1952	3,2223	3,2061
400	3,1046	3,1280	3,1335	3,1387	3,1350	3,1621	3,1948	3,2218	3,2057
500	3,1048	3,1282	3,1337	3,1390	3,1352	3,1623	3,1949	3,2219	3,2057
600	3,1046	3,1280	3,1335	3,1387	3,1349	3,1620	3,1944	3,2213	3,2052
700	3,1044	3,1277	3,1332	3,1385	3,1346	3,1617	3,1939	3,2208	3,2047
800	3,1042	3,1276	3,1331	3,1383	3,1345	3,1614	3,1935	3,2203	3,2043
900	3,1039	3,1273	3,1328	3,1380	3,1341	3,1610	3,1930	3,2197	3,2037
1000	3,1036	3,1269	3,1324	3,1376	3,1337	3,1606	3,1924	3,2191	3,2031
1100	3,1034	3,1267	3,1322	3,1374	3,1335	3,1602	3,1918	3,2185	3,2025
1200	3,1031	3,1264	3,1319	3,1371	3,1331	3,1599	3,1913	3,2179	3,2020
1300	3,1030	3,1263	3,1318	3,1369	3,1330	3,1596	3,1909	3,2174	3,2015
1400	3,1026	3,1259	3,1313	3,1364	3,1325	3,1591	3,1902	3,2167	3,2009
1500	3,1022	3,1254	3,1308	3,1359	3,1319	3,1584	3,1894	3,2158	3,2000
1600	3,1018	3,1251	3,1306	3,1357	3,1316	3,1581	3,1889	3,2153	3,1995
1700	3,1013	3,1246	3,1301	3,1351	3,1310	3,1575	3,1881	3,2145	3,1987
1800	3,1014	3,1246	3,1301	3,1351	3,1310	3,1574	3,1878	3,2141	3,1984
1900	3,1007	3,1239	3,1293	3,1343	3,1302	3,1566	3,1868	3,2130	3,1973
2000	3,1002	3,1234	3,1288	3,1338	3,1296	3,1559	3,1860	3,2122	3,1965
st. dev.	0,0017	0,0018	0,0018	0,0019	0,0019	0,0022	0,0030	0,0033	0,0031

Priloga G: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	3,0817	3,1024	3,1083	3,1135	3,1099	3,1371	3,1700	3,1966	3,1800
0,2	3,0813	3,1032	3,1089	3,1140	3,1103	3,1378	3,1708	3,1972	3,1804
0,3	3,0838	3,1053	3,1112	3,1162	3,1123	3,1398	3,1730	3,1997	3,1828
0,4	3,0862	3,1077	3,1138	3,1187	3,1148	3,1424	3,1755	3,2024	3,1854
0,5	3,0874	3,1089	3,1149	3,1199	3,1160	3,1436	3,1767	3,2035	3,1865
0,6	3,0869	3,1084	3,1144	3,1194	3,1155	3,1431	3,1762	3,2030	3,1860
0,7	3,0865	3,1081	3,1140	3,1190	3,1150	3,1427	3,1758	3,2026	3,1855
0,8	3,0867	3,1082	3,1142	3,1192	3,1152	3,1428	3,1760	3,2027	3,1857
0,9	3,0869	3,1084	3,1144	3,1194	3,1154	3,1430	3,1761	3,2029	3,1859
1	3,0860	3,1076	3,1136	3,1185	3,1146	3,1422	3,1753	3,2020	3,1850
2	3,0864	3,1079	3,1139	3,1189	3,1149	3,1426	3,1757	3,2024	3,1854
3	3,0860	3,1075	3,1135	3,1185	3,1146	3,1422	3,1753	3,2020	3,1850
4	3,0859	3,1075	3,1135	3,1184	3,1145	3,1421	3,1752	3,2019	3,1849
5	3,0857	3,1072	3,1132	3,1182	3,1142	3,1418	3,1749	3,2016	3,1847
6	3,0859	3,1074	3,1134	3,1184	3,1145	3,1421	3,1752	3,2019	3,1849
7	3,0858	3,1074	3,1134	3,1183	3,1144	3,1420	3,1751	3,2018	3,1848
8	3,0858	3,1073	3,1133	3,1183	3,1144	3,1420	3,1751	3,2018	3,1848
9	3,0859	3,1074	3,1134	3,1184	3,1144	3,1420	3,1751	3,2019	3,1849
10	3,0859	3,1075	3,1135	3,1184	3,1145	3,1421	3,1752	3,2019	3,1850
20	3,0858	3,1074	3,1134	3,1183	3,1144	3,1420	3,1751	3,2018	3,1849
30	3,0859	3,1074	3,1134	3,1184	3,1144	3,1421	3,1752	3,2018	3,1849
40	3,0857	3,1073	3,1133	3,1182	3,1143	3,1419	3,1750	3,2017	3,1847
50	3,0857	3,1072	3,1133	3,1182	3,1143	3,1418	3,1749	3,2016	3,1847
60	3,0859	3,1074	3,1134	3,1184	3,1144	3,1420	3,1752	3,2019	3,1849
70	3,0859	3,1074	3,1135	3,1184	3,1145	3,1421	3,1752	3,2019	3,1850
80	3,0859	3,1074	3,1135	3,1184	3,1145	3,1420	3,1751	3,2018	3,1849
90	3,0859	3,1074	3,1134	3,1184	3,1144	3,1420	3,1751	3,2018	3,1849
100	3,0859	3,1074	3,1135	3,1184	3,1144	3,1420	3,1751	3,2018	3,1849
200	3,0858	3,1074	3,1134	3,1183	3,1144	3,1419	3,1750	3,2016	3,1848
300	3,0857	3,1072	3,1133	3,1181	3,1142	3,1418	3,1748	3,2014	3,1845
400	3,0856	3,1071	3,1132	3,1181	3,1141	3,1417	3,1746	3,2011	3,1843
500	3,0858	3,1074	3,1134	3,1183	3,1143	3,1418	3,1747	3,2013	3,1844
600	3,0857	3,1072	3,1132	3,1181	3,1142	3,1416	3,1743	3,2008	3,1840
700	3,0855	3,1070	3,1131	3,1179	3,1140	3,1414	3,1740	3,2005	3,1836
800	3,0854	3,1070	3,1130	3,1179	3,1139	3,1413	3,1738	3,2002	3,1834
900	3,0852	3,1067	3,1128	3,1176	3,1136	3,1410	3,1734	3,1998	3,1830
1000	3,0850	3,1065	3,1125	3,1174	3,1134	3,1406	3,1730	3,1993	3,1825
1100	3,0849	3,1064	3,1124	3,1172	3,1132	3,1405	3,1726	3,1989	3,1822
1200	3,0847	3,1062	3,1122	3,1170	3,1130	3,1402	3,1723	3,1985	3,1818
1300	3,0846	3,1061	3,1122	3,1170	3,1129	3,1401	3,1721	3,1983	3,1816
1400	3,0844	3,1059	3,1118	3,1167	3,1126	3,1397	3,1716	3,1978	3,1811
1500	3,0841	3,1056	3,1116	3,1164	3,1123	3,1393	3,1710	3,1971	3,1805
1600	3,0839	3,1054	3,1113	3,1162	3,1121	3,1391	3,1707	3,1969	3,1802
1700	3,0835	3,1050	3,1110	3,1158	3,1116	3,1387	3,1701	3,1962	3,1796
1800	3,0837	3,1052	3,1112	3,1159	3,1118	3,1388	3,1701	3,1961	3,1796
1900	3,0832	3,1046	3,1106	3,1153	3,1112	3,1381	3,1693	3,1953	3,1787
2000	3,0828	3,1043	3,1103	3,1150	3,1108	3,1377	3,1688	3,1947	3,1782
st. dev.	0,0013	0,0013	0,0014	0,0014	0,0014	0,0016	0,0021	0,0023	0,0022

Priloga H: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	3,0246	3,0392	3,0454	3,0503	3,0479	3,0736	3,1055	3,1312	3,1146
0,2	3,0257	3,0415	3,0475	3,0517	3,0494	3,0753	3,1068	3,1332	3,1163
0,3	3,0278	3,0434	3,0496	3,0539	3,0516	3,0776	3,1092	3,1354	3,1182
0,4	3,0301	3,0459	3,0521	3,0562	3,0540	3,0801	3,1119	3,1380	3,1209
0,5	3,0312	3,0470	3,0532	3,0574	3,0551	3,0811	3,1129	3,1390	3,1219
0,6	3,0306	3,0464	3,0526	3,0568	3,0545	3,0805	3,1123	3,1384	3,1214
0,7	3,0304	3,0462	3,0524	3,0565	3,0543	3,0804	3,1120	3,1381	3,1210
0,8	3,0305	3,0462	3,0525	3,0566	3,0543	3,0803	3,1121	3,1382	3,1211
0,9	3,0307	3,0465	3,0527	3,0569	3,0546	3,0806	3,1123	3,1384	3,1214
1	3,0299	3,0457	3,0519	3,0560	3,0537	3,0798	3,1115	3,1376	3,1204
2	3,0302	3,0459	3,0522	3,0563	3,0540	3,0801	3,1118	3,1379	3,1208
3	3,0298	3,0456	3,0518	3,0559	3,0537	3,0797	3,1114	3,1374	3,1204
4	3,0297	3,0455	3,0517	3,0559	3,0536	3,0796	3,1113	3,1374	3,1203
5	3,0295	3,0453	3,0514	3,0556	3,0533	3,0794	3,1111	3,1371	3,1201
6	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1374	3,1203
7	3,0296	3,0454	3,0516	3,0558	3,0535	3,0795	3,1112	3,1373	3,1203
8	3,0296	3,0454	3,0516	3,0557	3,0535	3,0795	3,1112	3,1372	3,1202
9	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
10	3,0297	3,0455	3,0517	3,0559	3,0536	3,0796	3,1113	3,1374	3,1203
20	3,0296	3,0454	3,0516	3,0558	3,0535	3,0795	3,1113	3,1373	3,1203
30	3,0297	3,0454	3,0517	3,0558	3,0535	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
40	3,0295	3,0453	3,0515	3,0556	3,0534	3,0794	3,1111	3,1372	3,1201
50	3,0295	3,0452	3,0515	3,0556	3,0535	3,0794	3,1111	3,1371	3,1201
60	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
70	3,0297	3,0454	3,0517	3,0558	3,0535	3,0796	3,1113	3,1374	3,1203
80	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
90	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
100	3,0297	3,0455	3,0517	3,0558	3,0536	3,0796	3,1113	3,1373	3,1203
200	3,0296	3,0454	3,0516	3,0557	3,0535	3,0795	3,1112	3,1372	3,1202
300	3,0295	3,0453	3,0515	3,0556	3,0534	3,0794	3,1111	3,1371	3,1201
400	3,0295	3,0453	3,0515	3,0557	3,0534	3,0794	3,1111	3,1371	3,1200
500	3,0297	3,0454	3,0517	3,0558	3,0536	3,0795	3,1112	3,1372	3,1202
600	3,0297	3,0454	3,0517	3,0558	3,0535	3,0795	3,1112	3,1371	3,1201
700	3,0296	3,0453	3,0515	3,0557	3,0534	3,0794	3,1110	3,1369	3,1199
800	3,0296	3,0454	3,0516	3,0557	3,0535	3,0794	3,1110	3,1369	3,1199
900	3,0294	3,0452	3,0514	3,0556	3,0533	3,0793	3,1108	3,1367	3,1197
1000	3,0293	3,0451	3,0513	3,0555	3,0532	3,0791	3,1106	3,1365	3,1195
1100	3,0293	3,0451	3,0513	3,0555	3,0532	3,0791	3,1105	3,1364	3,1194
1200	3,0292	3,0450	3,0512	3,0554	3,0531	3,0790	3,1104	3,1363	3,1193
1300	3,0293	3,0450	3,0512	3,0554	3,0531	3,0790	3,1104	3,1363	3,1193
1400	3,0292	3,0450	3,0512	3,0554	3,0531	3,0789	3,1103	3,1361	3,1191
1500	3,0291	3,0449	3,0511	3,0553	3,0530	3,0788	3,1101	3,1358	3,1189
1600	3,0289	3,0447	3,0510	3,0552	3,0528	3,0787	3,1099	3,1357	3,1188
1700	3,0288	3,0445	3,0507	3,0549	3,0526	3,0784	3,1096	3,1354	3,1185
1800	3,0291	3,0449	3,0511	3,0553	3,0530	3,0788	3,1099	3,1357	3,1187
1900	3,0289	3,0447	3,0509	3,0550	3,0527	3,0785	3,1095	3,1353	3,1183
2000	3,0287	3,0445	3,0506	3,0548	3,0525	3,0782	3,1093	3,1350	3,1181
st. dev.	0,0011	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0012	0,0013	0,0013	0,0013

Priloga I: Dielektrična konstanta za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.

f (kHz)	ϵ'								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	2,9890	3,0002	3,0059	3,0112	3,0069	3,0330	3,0637	3,0888	3,0714
0,2	2,9898	3,0017	3,0062	3,0113	3,0073	3,0326	3,0640	3,0897	3,0719
0,3	2,9921	3,0045	3,0091	3,0141	3,0103	3,0355	3,0669	3,0918	3,0748
0,4	2,9943	3,0066	3,0112	3,0162	3,0124	3,0376	3,0691	3,0941	3,0770
0,5	2,9955	3,0078	3,0124	3,0175	3,0136	3,0388	3,0703	3,0952	3,0783
0,6	2,9949	3,0072	3,0118	3,0168	3,0129	3,0383	3,0696	3,0947	3,0776
0,7	2,9947	3,0070	3,0116	3,0166	3,0127	3,0380	3,0694	3,0944	3,0774
0,8	2,9947	3,0071	3,0117	3,0167	3,0128	3,0381	3,0695	3,0944	3,0774
0,9	2,9950	3,0073	3,0119	3,0169	3,0131	3,0383	3,0698	3,0947	3,0777
1	2,9943	3,0066	3,0112	3,0162	3,0123	3,0376	3,0690	3,0939	3,0769
2	2,9945	3,0068	3,0114	3,0164	3,0126	3,0378	3,0692	3,0942	3,0772
3	2,9941	3,0065	3,0111	3,0161	3,0122	3,0375	3,0689	3,0938	3,0768
4	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0688	3,0937	3,0767
5	2,9938	3,0062	3,0108	3,0158	3,0119	3,0372	3,0685	3,0935	3,0765
6	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0688	3,0937	3,0767
7	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0121	3,0373	3,0687	3,0937	3,0767
8	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0373	3,0687	3,0936	3,0766
9	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0688	3,0937	3,0767
10	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0688	3,0937	3,0767
20	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0373	3,0687	3,0936	3,0766
30	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0374	3,0687	3,0937	3,0767
40	2,9938	3,0062	3,0108	3,0158	3,0119	3,0372	3,0686	3,0935	3,0765
50	2,9937	3,0061	3,0107	3,0158	3,0119	3,0371	3,0685	3,0935	3,0765
60	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0687	3,0937	3,0767
70	2,9939	3,0064	3,0109	3,0159	3,0121	3,0373	3,0687	3,0937	3,0767
80	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0121	3,0373	3,0687	3,0937	3,0767
90	2,9940	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0374	3,0688	3,0937	3,0767
100	2,9939	3,0064	3,0109	3,0160	3,0121	3,0374	3,0687	3,0937	3,0767
200	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0373	3,0686	3,0936	3,0766
300	2,9938	3,0062	3,0108	3,0158	3,0119	3,0372	3,0685	3,0935	3,0765
400	2,9937	3,0062	3,0108	3,0158	3,0119	3,0372	3,0685	3,0934	3,0765
500	2,9939	3,0064	3,0109	3,0159	3,0121	3,0373	3,0687	3,0936	3,0766
600	2,9939	3,0064	3,0110	3,0160	3,0121	3,0373	3,0687	3,0936	3,0766
700	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0373	3,0686	3,0935	3,0765
800	2,9939	3,0063	3,0109	3,0159	3,0120	3,0373	3,0686	3,0935	3,0765
900	2,9937	3,0062	3,0107	3,0158	3,0119	3,0371	3,0684	3,0933	3,0764
1000	2,9936	3,0061	3,0107	3,0157	3,0118	3,0371	3,0683	3,0932	3,0762
1100	2,9937	3,0061	3,0107	3,0158	3,0119	3,0371	3,0683	3,0932	3,0762
1200	2,9936	3,0060	3,0106	3,0157	3,0118	3,0370	3,0682	3,0931	3,0761
1300	2,9936	3,0061	3,0107	3,0157	3,0119	3,0371	3,0683	3,0931	3,0762
1400	2,9936	3,0061	3,0107	3,0158	3,0119	3,0370	3,0682	3,0930	3,0761
1500	2,9935	3,0060	3,0106	3,0157	3,0118	3,0370	3,0681	3,0929	3,0760
1600	2,9933	3,0058	3,0104	3,0155	3,0116	3,0368	3,0680	3,0928	3,0759
1700	2,9932	3,0058	3,0103	3,0154	3,0115	3,0366	3,0677	3,0926	3,0756
1800	2,9936	3,0062	3,0108	3,0158	3,0119	3,0371	3,0681	3,0929	3,0760
1900	2,9934	3,0060	3,0106	3,0156	3,0117	3,0369	3,0678	3,0926	3,0757
2000	2,9932	3,0057	3,0103	3,0154	3,0115	3,0367	3,0676	3,0924	3,0755
st. dev.	0,0011	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0011	0,0011	0,0012

Priloga J: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	0,1337	-1,1661	-0,4857	0,4051	-0,2498	0,4395	0,2432	1,1165	0,8469
0,2	0,5310	0,1668	-0,1391	-0,1375	0,3711	0,5671	0,2706	0,9926	1,3579
0,3	0,6065	0,2815	0,5321	0,4898	0,5156	0,6630	0,7738	0,8903	0,9222
0,4	0,2993	0,1253	0,0964	0,2700	0,3087	0,4475	0,4703	0,6471	0,5374
0,5	0,2801	0,2078	0,2419	0,3230	0,3123	0,4237	0,4910	0,5752	0,5417
0,6	0,2319	0,1255	0,1083	0,2265	0,2418	0,3029	0,3671	0,4647	0,4334
0,7	0,1821	0,0915	0,1163	0,0861	0,1378	0,2573	0,2884	0,3550	0,3172
0,8	0,1604	0,0571	0,0816	0,1403	0,1496	0,2411	0,2549	0,3424	0,3109
0,9	0,1468	0,0724	0,0941	0,1438	0,1459	0,2192	0,2619	0,3241	0,3073
1	0,4727	0,4135	0,4444	0,5045	0,5505	0,6240	0,6353	0,7127	0,7471
2	0,2981	0,2638	0,2767	0,3174	0,3489	0,4088	0,4433	0,5010	0,5281
3	0,2542	0,2363	0,2493	0,2859	0,3076	0,3720	0,4370	0,4981	0,5248
4	0,1452	0,1554	0,1342	0,2050	0,2207	0,2881	0,3748	0,4455	0,4688
5	0,2064	0,1944	0,2143	0,2588	0,2903	0,3750	0,4692	0,5511	0,6067
6	0,1157	0,1130	0,1249	0,1750	0,2047	0,2892	0,4087	0,4951	0,5509
7	0,1250	0,1289	0,1415	0,2039	0,2302	0,3278	0,4648	0,5645	0,6408
8	0,2100	0,2099	0,2259	0,3048	0,3277	0,4409	0,6054	0,7124	0,7926
9	0,2059	0,2099	0,2185	0,3085	0,3370	0,4611	0,6331	0,7534	0,8402
10	0,2330	0,2315	0,2441	0,3355	0,3637	0,5099	0,7088	0,8330	0,9312
20	0,3110	0,3092	0,3583	0,5111	0,5654	0,7988	1,2080	1,4307	1,6260
30	0,4673	0,4838	0,5795	0,7668	0,8292	1,1891	1,7644	2,1422	2,3845
40	0,4357	0,4619	0,5581	0,8585	0,9496	1,4218	2,1835	2,6393	2,9681
50	0,5701	0,6077	0,7237	1,1001	1,2100	1,7966	2,7454	3,3064	3,7038
60	0,6614	0,7062	0,8442	1,2899	1,4158	2,1135	3,2312	3,8926	4,3549
70	0,7614	0,8146	0,9768	1,4906	1,6396	2,4445	3,7330	4,4960	5,0192
80	0,8749	0,9336	1,1209	1,7064	1,8742	2,7903	4,2434	5,0991	5,6839
90	0,9814	1,0520	1,2570	1,9137	2,1028	3,1270	4,7415	5,6912	6,3284
100	1,0839	1,1631	1,3897	2,1150	2,3263	3,4514	5,2271	6,2693	6,9618
200	2,5762	2,7213	3,2086	4,6008	5,0117	7,1301	10,3369	12,1588	13,2977
300	3,7947	3,9871	4,7170	6,7331	7,3110	10,3011	14,6546	17,0893	18,5607
400	4,9543	5,2357	6,1680	8,7869	9,5172	13,2703	18,6106	21,5410	23,2714
500	6,1272	6,4532	7,6082	10,7709	11,7629	16,1954	22,3703	25,7350	27,6900
600	7,4299	7,8313	9,1900	12,8573	13,8796	18,9322	25,8686	29,5853	31,7473
700	8,5941	9,0347	10,6097	14,7912	15,9378	21,5694	29,1703	33,2261	35,5459
800	9,6685	10,1783	11,9302	16,5197	17,7811	23,9413	32,1653	36,5221	39,0152
900	11,0479	11,6362	13,5167	18,5212	19,8712	26,4883	35,2602	39,8831	42,5072
1000	12,1371	12,7138	14,8342	20,3009	21,7708	28,8626	38,1265	43,0048	45,7655
1100	13,1993	13,8479	16,1280	21,9952	23,5740	31,1156	40,8906	46,0098	48,8863
1200	14,3574	15,0374	17,5032	23,7401	25,4112	33,3595	43,6069	48,9538	51,9600
1300	15,4011	16,1225	18,7769	25,3908	27,1612	35,5199	46,1443	51,6694	54,7774
1400	16,5378	17,3708	20,0687	27,0314	28,8901	37,6353	48,6827	54,3814	57,6029
1500	17,6759	18,5085	21,4230	28,7316	30,2805	39,2026	50,5845	56,4582	59,7827
1600	18,5038	19,6624	22,4554	30,0909	32,0859	41,3983	53,0548	59,0456	62,4102
1700	19,4005	20,3647	23,5760	31,5845	33,6168	43,3313	55,3526	61,5412	64,9728
1800	20,2224	21,1031	24,5919	32,8474	35,0366	45,0212	57,4637	63,8544	67,3617
1900	21,3853	22,3282	25,9826	34,4343	36,6361	46,8866	59,5744	66,0139	69,6298
2000	22,6613	23,7375	27,3265	36,0007	38,2893	48,7346	61,5909	68,1764	71,8268
st. dev. · 10 ⁻³	7,3	7,7	9,0	12	13	17	22	24	25

Priloga K: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.

f (kHz)	$\varepsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	0,7558	0,0090	-1,0696	-0,0241	0,2296	0,8523	0,7187	1,5773	1,8669
0,2	0,8424	-0,0030	-0,1617	0,3787	0,3538	0,7197	0,8474	1,1214	1,0655
0,3	0,6459	0,4001	0,4437	0,5878	0,5588	0,9468	0,9132	1,1275	1,0101
0,4	0,3423	0,2601	0,2713	0,3297	0,3359	0,5942	0,6077	0,7733	0,7468
0,5	0,3406	0,1835	0,2408	0,3381	0,3472	0,5870	0,5898	0,6829	0,6762
0,6	0,3239	0,1636	0,1833	0,2354	0,2982	0,4489	0,4218	0,5701	0,4940
0,7	0,2320	0,1127	0,1102	0,1189	0,2147	0,3655	0,3781	0,4560	0,4053
0,8	0,1888	0,0746	0,1327	0,1932	0,1924	0,2845	0,3037	0,4069	0,3768
0,9	0,1864	0,0917	0,1235	0,1330	0,1782	0,2701	0,2889	0,3599	0,3504
1	0,5141	0,4250	0,4648	0,5110	0,5568	0,6774	0,6862	0,7552	0,7677
2	0,3089	0,2591	0,2979	0,3259	0,3552	0,4116	0,4441	0,4992	0,5113
3	0,2531	0,2269	0,2533	0,2820	0,3088	0,3677	0,4064	0,4612	0,4891
4	0,1525	0,1448	0,1467	0,1762	0,2139	0,2602	0,3167	0,3810	0,4100
5	0,2019	0,1944	0,2055	0,2498	0,2700	0,3277	0,4042	0,4694	0,5003
6	0,0968	0,1020	0,1107	0,1539	0,1701	0,2435	0,3137	0,3864	0,4348
7	0,1117	0,1075	0,1240	0,1674	0,1943	0,2603	0,3568	0,4346	0,4874
8	0,1949	0,1819	0,1990	0,2578	0,2818	0,3612	0,4755	0,5627	0,6141
9	0,1855	0,1785	0,2027	0,2556	0,2847	0,3702	0,4985	0,5855	0,6465
10	0,2063	0,2030	0,2189	0,2866	0,3106	0,4068	0,5445	0,6448	0,7225
20	0,2365	0,2632	0,2877	0,3972	0,4343	0,6182	0,8971	1,0648	1,1960
30	0,3941	0,3831	0,4366	0,6030	0,6504	0,9047	1,3252	1,5961	1,7807
40	0,3217	0,3398	0,4174	0,6304	0,6977	1,0357	1,5808	1,9072	2,1419
50	0,4279	0,4555	0,5448	0,8133	0,8977	1,3186	2,0033	2,4010	2,6811
60	0,4888	0,5236	0,6285	0,9484	1,0451	1,5442	2,3416	2,8202	3,1556
70	0,5610	0,6000	0,7251	1,0955	1,2065	1,7826	2,7068	3,2553	3,6367
80	0,6429	0,6893	0,8320	1,2531	1,3814	2,0369	3,0823	3,7035	4,1269
90	0,7229	0,7749	0,9323	1,4072	1,5476	2,2816	3,4490	4,1400	4,6045
100	0,7968	0,8554	1,0287	1,5512	1,7063	2,5183	3,8068	4,5624	5,0699
200	2,0060	2,1098	2,4784	3,4982	3,8022	5,3556	7,7468	9,1151	9,9808
300	2,9257	3,0755	3,6315	5,1212	5,5582	7,7840	11,0902	12,9617	14,0983
400	3,8192	4,0260	4,7492	6,6752	7,2446	10,0675	14,1860	16,4916	17,8503
500	4,6951	4,9494	5,8383	8,2012	8,8908	12,3654	17,2051	19,8547	21,4267
600	5,7246	6,0369	7,0802	9,8327	10,6445	14,5117	19,9840	22,9617	24,7035
700	6,6035	6,9642	8,1787	11,3200	12,2428	16,5993	22,6289	25,9076	27,8022
800	7,4268	7,8278	9,1692	12,6574	13,6608	18,4326	25,0155	28,5444	30,5803
900	8,5464	9,0141	10,4649	14,2712	15,3527	20,4938	27,5270	31,2929	33,4517
1000	9,3416	9,8215	11,4679	15,6368	16,8188	22,3758	29,8672	33,8365	36,1075
1100	10,1491	10,6887	12,4369	16,9490	18,2162	24,1609	32,0898	36,2821	38,6651
1200	11,0421	11,6098	13,4963	18,3201	19,6553	25,9496	34,2831	38,6844	41,1874
1300	11,8304	12,4145	14,4501	19,5910	21,0180	27,6632	36,3700	40,9365	43,5171
1400	12,7431	13,4200	15,4907	20,8833	22,3869	29,3352	38,4432	43,1881	45,8461
1500	13,5950	14,2813	16,5377	22,2320	23,8298	30,6230	39,9259	44,8254	47,5659
1600	14,2284	15,1938	17,3394	23,2249	24,9029	32,3651	42,0269	47,0352	49,8150
1700	14,8256	15,6384	18,1144	24,3955	26,1264	33,8610	43,8960	49,0751	51,9585
1800	15,3641	16,1362	18,8111	25,3197	27,1342	35,2177	45,5843	50,9488	53,9395
1900	16,3426	17,1457	19,9489	26,6757	28,5135	36,7314	47,3811	52,8504	55,8426
2000	17,3921	18,2778	21,1386	27,9586	29,8624	38,3131	49,1484	54,6523	57,7457
st. dev. · 10 ⁻³	5,6	5,9	6,9	9,3	9,9	13	17	19	20

Priloga L: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	2,3328	1,1559	0,7894	1,0276	1,4453	3,8941	2,9405	4,7435	4,8490
0,2	1,4558	0,7067	0,6012	0,8619	1,1032	2,2682	1,6179	2,3640	2,7520
0,3	1,2332	0,7000	0,7182	0,9006	1,0417	1,6418	1,6366	2,0854	2,0652
0,4	0,7657	0,3389	0,4369	0,6186	0,6723	1,1867	1,1218	1,4736	1,4181
0,5	0,7447	0,4192	0,4715	0,5460	0,6547	1,0260	0,9797	1,2843	1,2042
0,6	0,5945	0,2608	0,3539	0,4363	0,4958	0,8214	0,7198	0,9915	0,9887
0,7	0,4772	0,2280	0,2637	0,3566	0,3810	0,6339	0,6660	0,8299	0,7732
0,8	0,3847	0,1778	0,2208	0,2959	0,3728	0,5604	0,5252	0,7242	0,6969
0,9	0,3716	0,1715	0,2007	0,2797	0,3138	0,5304	0,4890	0,6675	0,6261
1	0,6783	0,5239	0,5376	0,6482	0,6882	0,8742	0,8763	1,0292	1,0268
2	0,3781	0,2951	0,3291	0,3683	0,3987	0,4988	0,5038	0,5851	0,5849
3	0,2992	0,2514	0,2653	0,2971	0,3167	0,3983	0,4012	0,4644	0,4708
4	0,1864	0,1398	0,1589	0,1857	0,1901	0,2594	0,2776	0,3294	0,3365
5	0,2056	0,1750	0,1899	0,2252	0,2366	0,3033	0,3178	0,3717	0,3812
6	0,1132	0,0865	0,0968	0,1219	0,1308	0,1862	0,2144	0,2514	0,2755
7	0,1063	0,0904	0,0929	0,1214	0,1256	0,1869	0,2273	0,2684	0,2861
8	0,1783	0,1512	0,1693	0,2057	0,2130	0,2720	0,3115	0,3641	0,3839
9	0,1706	0,1364	0,1535	0,1864	0,2046	0,2625	0,3040	0,3530	0,3769
10	0,1751	0,1593	0,1667	0,2074	0,2229	0,2845	0,3349	0,3851	0,4109
20	0,1666	0,1493	0,1754	0,2196	0,2460	0,3204	0,4366	0,5069	0,5599
30	0,2458	0,2237	0,2573	0,3273	0,3529	0,4546	0,6155	0,7128	0,7954
40	0,1286	0,1345	0,1666	0,2597	0,2903	0,4351	0,6496	0,7818	0,8796
50	0,1877	0,1953	0,2344	0,3496	0,3885	0,5657	0,8380	1,0050	1,1167
60	0,2005	0,2136	0,2579	0,3926	0,4361	0,6459	0,9630	1,1550	1,2934
70	0,2231	0,2386	0,2862	0,4476	0,4961	0,7387	1,1077	1,3284	1,4855
80	0,2569	0,2745	0,3327	0,5144	0,5690	0,8451	1,2641	1,5146	1,6921
90	0,2895	0,3111	0,3727	0,5764	0,6378	0,9449	1,4144	1,6939	1,8912
100	0,3135	0,3382	0,4063	0,6325	0,7006	1,0386	1,5577	1,8661	2,0844
200	1,0318	1,0692	1,2390	1,6722	1,8134	2,4726	3,4914	4,0786	4,4760
300	1,4594	1,5339	1,7676	2,4286	2,6346	3,5945	5,0607	5,9004	6,4461
400	1,8946	1,9870	2,2798	3,1527	3,4191	4,6590	6,5560	7,6281	8,3141
500	2,2774	2,3956	2,7917	3,8490	4,1714	5,7004	8,1126	9,3966	10,1955
600	2,8390	2,9648	3,4368	4,7024	5,0772	6,8752	9,5394	11,0113	11,9320
700	3,2481	3,4055	3,9481	5,3939	5,8397	7,9099	10,9313	12,5886	13,6124
800	3,5976	3,7812	4,3879	5,9935	6,4969	8,7774	12,1028	13,9121	15,0364
900	4,2584	4,4620	5,1370	6,9172	7,4594	9,9399	13,5259	15,4714	16,6700
1000	4,5592	4,7841	5,5391	7,5252	8,1374	10,8604	14,7620	16,8644	18,1532
1100	4,9330	5,1922	5,9912	8,1344	8,7904	11,7440	15,9327	18,1794	19,5413
1200	5,3530	5,6453	6,5030	8,8066	9,5109	12,6660	17,1017	19,4770	20,9125
1300	5,6568	5,9665	6,9108	9,3853	10,1344	13,5156	18,2122	20,7262	22,2239
1400	6,1613	6,5027	7,4772	10,0649	10,8373	14,3788	19,3105	21,9522	23,5053
1500	6,5824	6,8480	7,9805	10,7325	11,5752	15,3265	20,0506	22,8157	24,3501
1600	6,9972	7,3143	8,2369	11,1304	11,9982	15,8792	21,2280	24,0744	25,6985
1700	6,9739	7,2067	8,5079	11,5297	12,4554	16,6234	22,1543	25,1491	26,8020
1800	7,0167	7,3632	8,6315	11,8802	12,8528	17,1201	22,9694	26,0387	27,8088
1900	7,5758	7,9864	9,2953	12,6505	13,6502	18,0583	23,9974	27,1421	28,9346
2000	8,2357	8,6943	10,0582	13,4444	14,4638	18,9455	25,0497	28,3183	30,1211
st. dev. · 10 ⁻³	2,6	2,8	3,2	4,3	4,7	6,2	8,3	9,4	10

Priloga M: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1A-9A v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A
0,1	4,7124	1,2932	1,6193	2,3949	3,5223	5,6707	5,9875	7,5570	7,4161
0,2	2,6141	0,8658	1,3688	1,1958	1,8375	3,3522	3,0580	4,4385	3,9243
0,3	1,9471	0,9393	0,9845	1,1989	1,6222	2,5054	2,3680	3,0326	3,0135
0,4	1,3896	0,6273	0,7271	0,7791	1,0015	1,7433	1,6579	2,1425	2,0851
0,5	1,1295	0,5354	0,6160	0,7587	0,9494	1,5133	1,3815	1,8680	1,7874
0,6	0,9337	0,4512	0,5395	0,5783	0,7399	1,2067	1,1017	1,4958	1,4140
0,7	0,7195	0,3350	0,3807	0,4402	0,5975	1,0369	0,9414	1,2426	1,2135
0,8	0,6757	0,2834	0,3293	0,3679	0,5218	0,8805	0,8141	1,1044	1,0622
0,9	0,6102	0,2648	0,3444	0,3446	0,4769	0,7940	0,7250	1,0019	0,9661
1	0,8877	0,5933	0,6620	0,6841	0,8408	1,1249	1,0674	1,3038	1,3003
2	0,4803	0,3236	0,3614	0,3983	0,4618	0,6112	0,5877	0,7102	0,7129
3	0,3613	0,2681	0,2825	0,3035	0,3551	0,4593	0,4519	0,5381	0,5393
4	0,2275	0,1536	0,1633	0,1857	0,2303	0,3009	0,2972	0,3716	0,3652
5	0,2452	0,1841	0,2029	0,2111	0,2439	0,3252	0,3192	0,3792	0,3923
6	0,1351	0,0862	0,0979	0,1256	0,1525	0,2032	0,2008	0,2525	0,2632
7	0,1259	0,0849	0,0888	0,1056	0,1352	0,1894	0,1987	0,2516	0,2606
8	0,1860	0,1493	0,1551	0,1780	0,2066	0,2623	0,2750	0,3247	0,3401
9	0,1698	0,1365	0,1401	0,1720	0,1932	0,2443	0,2557	0,3097	0,3202
10	0,1741	0,1511	0,1594	0,1825	0,1941	0,2495	0,2756	0,3208	0,3365
20	0,1294	0,1247	0,1181	0,1771	0,2003	0,2359	0,3055	0,3620	0,3914
30	0,1890	0,1805	0,1806	0,2182	0,2615	0,3281	0,4126	0,4693	0,5228
40	0,0721	0,0674	0,0851	0,1438	0,1670	0,2566	0,3771	0,4651	0,5193
50	0,1112	0,1141	0,1342	0,2058	0,2332	0,3380	0,4926	0,6042	0,6677
60	0,1094	0,1122	0,1350	0,2203	0,2457	0,3744	0,5571	0,6799	0,7585
70	0,1155	0,1185	0,1445	0,2462	0,2755	0,4238	0,6362	0,7750	0,8637
80	0,1318	0,1369	0,1685	0,2821	0,3182	0,4835	0,7263	0,8837	0,9864
90	0,1468	0,1558	0,1906	0,3158	0,3537	0,5417	0,8120	0,9861	1,0978
100	0,1564	0,1666	0,2067	0,3422	0,3858	0,5901	0,8867	1,0770	1,2047
200	0,7068	0,7186	0,8331	1,0989	1,1851	1,5838	2,1857	2,5521	2,7806
300	0,9802	1,0156	1,1610	1,5637	1,6792	2,2812	3,1503	3,6901	4,0070
400	1,2438	1,3075	1,4890	2,0005	2,1632	2,9420	4,0796	4,7666	5,1799
500	1,4669	1,5423	1,7825	2,4318	2,6432	3,5692	4,9897	5,9365	6,4294
600	1,8745	1,9440	2,2370	3,0074	3,2458	4,3745	6,0258	6,9976	7,5585
700	2,1194	2,2180	2,5448	3,4461	3,7222	5,0172	6,9345	8,0425	8,6728
800	2,3218	2,4318	2,8016	3,8065	4,1237	5,5599	7,6517	8,8755	9,5653
900	2,8270	2,9302	3,3598	4,4790	4,8197	6,3991	8,6850	9,9967	10,7374
1000	2,9838	3,0795	3,5653	4,8100	5,1845	6,9636	9,4849	10,9227	11,7126
1100	3,1902	3,3390	3,8321	5,1856	5,5920	7,4991	10,2273	11,7793	12,6390
1200	3,4482	3,6404	4,1474	5,6161	6,0605	8,1047	11,0163	12,6678	13,5682
1300	3,6005	3,8011	4,3385	5,9557	6,4284	8,6232	11,7381	13,4957	14,4438
1400	3,9825	4,1557	4,7535	6,4376	6,9286	9,1894	12,4617	14,3138	15,3050
1500	4,2017	4,4212	5,0902	6,8403	7,4042	9,8052	13,2971	14,8310	15,8562
1600	4,4833	4,6551	5,3842	7,0205	7,5907	10,0886	13,7308	15,7298	16,7565
1700	4,2611	4,3963	5,2888	7,1367	7,7870	10,4596	14,3190	16,3971	17,4451
1800	4,1506	4,4331	5,2062	7,2599	7,9256	10,7083	14,7239	16,8971	18,0389
1900	4,6146	4,8583	5,6873	7,8194	8,5185	11,4223	15,5506	17,7211	18,8560
2000	5,0933	5,4022	6,2373	8,4732	9,1393	12,0932	16,2790	18,5549	19,7344
st. dev. · 10 ⁻³	1,6	1,7	2,0	2,7	2,9	3,8	5,3	6,0	6,4

Priloga N: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 20 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	1,0263	1,8404	1,6838	1,2260	2,2201	1,2667	2,2615	1,5979	1,8934
0,2	1,2895	0,7368	1,3629	0,8083	0,8484	1,2104	0,9472	1,3970	1,5984
0,3	0,8946	0,9275	0,9052	0,9313	1,0728	1,0879	1,1570	1,1398	1,2808
0,4	0,6143	0,6098	0,6472	0,6165	0,6257	0,6871	0,8464	0,8446	0,8566
0,5	0,5733	0,5725	0,5714	0,5226	0,5980	0,6523	0,7635	0,6945	0,7314
0,6	0,4971	0,4885	0,4790	0,4573	0,4691	0,4958	0,5599	0,5201	0,5661
0,7	0,3478	0,3486	0,3365	0,3598	0,3883	0,4505	0,4476	0,4163	0,5330
0,8	0,3027	0,3046	0,2919	0,3167	0,3290	0,3542	0,4138	0,3965	0,4105
0,9	0,2919	0,2701	0,2881	0,2769	0,2932	0,3279	0,3762	0,3667	0,3670
1	0,6893	0,7037	0,6714	0,6601	0,6547	0,7502	0,7327	0,7753	0,7367
2	0,4208	0,3919	0,4032	0,3870	0,3772	0,4247	0,4358	0,4692	0,4408
3	0,3489	0,3191	0,3400	0,3246	0,3137	0,3584	0,3580	0,3926	0,3609
4	0,2286	0,2147	0,2337	0,2194	0,2144	0,2424	0,2438	0,2782	0,2339
5	0,2632	0,2625	0,2648	0,2584	0,2567	0,3016	0,3071	0,3351	0,2996
6	0,1895	0,1664	0,1677	0,1751	0,1683	0,2087	0,2155	0,2374	0,2100
7	0,1903	0,1742	0,1756	0,1867	0,1745	0,2139	0,2215	0,2687	0,2341
8	0,2742	0,2455	0,2526	0,2664	0,2671	0,2933	0,3197	0,3452	0,3182
9	0,2713	0,2420	0,2516	0,2629	0,2687	0,2937	0,3190	0,3477	0,3195
10	0,2923	0,2690	0,2745	0,2880	0,2809	0,3221	0,3410	0,3799	0,3456
20	0,3831	0,3737	0,3596	0,3737	0,3748	0,4211	0,4996	0,5457	0,5038
30	0,4793	0,5346	0,5089	0,5678	0,5814	0,6169	0,7341	0,8056	0,7469
40	0,5080	0,5221	0,5320	0,5641	0,5843	0,6452	0,8210	0,8896	0,8350
50	0,6592	0,6788	0,6882	0,7274	0,7556	0,8285	1,0465	1,1334	1,0710
60	0,7620	0,7873	0,8016	0,8446	0,8755	0,9663	1,2241	1,3255	1,2507
70	0,8816	0,9035	0,9247	0,9707	1,0112	1,1147	1,4154	1,5304	1,4437
80	1,0020	1,0368	1,0592	1,1101	1,1565	1,2714	1,6184	1,7492	1,6519
90	1,1262	1,1603	1,1877	1,2464	1,3001	1,4307	1,8161	1,9606	1,8531
100	1,2426	1,2838	1,3110	1,3757	1,4358	1,5774	2,0063	2,1681	2,0513
200	2,9010	2,9830	3,0271	3,1591	3,2841	3,5670	4,3986	4,7032	4,4943
300	4,2383	4,3764	4,4517	4,6388	4,8221	5,2343	6,4399	6,8677	6,5602
400	5,5830	5,7510	5,8430	6,0903	6,3351	6,8670	8,4127	8,9441	8,5594
500	6,9032	7,1213	7,2360	7,5434	7,8428	8,4854	10,3598	10,9791	10,5228
600	8,3912	8,6389	8,7934	9,1079	9,4730	10,2331	12,3899	13,1157	12,5703
700	9,7056	9,9811	10,1458	10,5233	10,9288	11,8050	14,2530	15,0489	14,4350
800	10,9636	11,2862	11,4689	11,8889	12,3487	13,3230	16,0149	16,8878	16,1962
900	12,4953	12,8751	13,0754	13,5414	14,0530	15,1050	18,0390	18,9640	18,2153
1000	13,6956	14,1059	14,3513	14,8386	15,4037	16,5626	19,7321	20,7424	19,9250
1100	14,9198	15,3680	15,6179	16,1641	16,7587	18,0182	21,3921	22,4581	21,5765
1200	16,2169	16,7006	16,9732	17,5598	18,2001	19,5420	23,1273	24,2493	23,3115
1300	17,3815	17,9108	18,2218	18,8426	19,5137	20,9287	24,7240	25,9148	24,9009
1400	18,7145	19,2654	19,5881	20,2486	20,9651	22,4549	26,4186	27,6274	26,5920
1500	19,9726	20,5385	20,8740	21,5914	22,3410	23,8716	28,0772	29,3324	28,2287
1600	21,2088	21,8324	22,0397	22,7130	23,6048	25,0962	29,5155	30,7249	29,6781
1700	22,0291	22,6409	22,9154	23,7784	24,6317	26,2578	30,8114	32,1643	30,9646
1800	22,8733	23,5591	23,8737	24,7486	25,6339	27,3916	32,0689	33,4545	32,2386
1900	24,2007	24,8666	25,2117	26,1497	27,0634	28,8835	33,7116	35,0598	33,8480
2000	25,6663	26,3647	26,7206	27,7482	28,6833	30,4740	35,4690	36,8403	35,5940
st. dev. · 10 ⁻³	8,3	8,5	8,6	8,9	9,3	9,9	12	12	12

Priloga O: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 25 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	1,4818	2,0087	2,0902	1,6806	2,0589	3,0937	3,1181	2,6829	2,5475
0,2	1,3825	1,2855	1,1598	1,0331	1,7238	1,4449	1,8350	1,7952	2,2211
0,3	1,0666	1,1540	1,1530	1,1158	1,1354	1,3182	1,5041	1,5455	1,4238
0,4	0,8676	0,7523	0,7377	0,6765	0,7690	0,8779	0,9534	1,0528	1,0389
0,5	0,7254	0,6870	0,6620	0,6976	0,7702	0,7744	0,8721	0,8863	0,8902
0,6	0,5665	0,5657	0,5580	0,5686	0,6338	0,6339	0,7282	0,7229	0,7181
0,7	0,4199	0,4293	0,4100	0,4590	0,4392	0,5429	0,5476	0,6407	0,5735
0,8	0,3745	0,3812	0,3743	0,3725	0,3897	0,4482	0,5064	0,4978	0,4868
0,9	0,3456	0,3451	0,3653	0,3515	0,3579	0,3976	0,4832	0,4713	0,4537
1	0,7708	0,7507	0,7532	0,7307	0,7165	0,7876	0,8090	0,8717	0,8171
2	0,4432	0,4314	0,4304	0,4149	0,4116	0,4543	0,4750	0,5089	0,4698
3	0,3562	0,3395	0,3486	0,3327	0,3341	0,3680	0,3812	0,4006	0,3812
4	0,2340	0,2204	0,2270	0,2294	0,2166	0,2394	0,2591	0,2791	0,2334
5	0,2684	0,2537	0,2575	0,2604	0,2524	0,2780	0,2874	0,3204	0,2952
6	0,1659	0,1515	0,1547	0,1634	0,1659	0,1794	0,1949	0,2189	0,2107
7	0,1603	0,1578	0,1535	0,1678	0,1589	0,1893	0,2013	0,2246	0,2032
8	0,2320	0,2278	0,2464	0,2456	0,2328	0,2571	0,2834	0,3155	0,2797
9	0,2273	0,2168	0,2370	0,2307	0,2362	0,2503	0,2773	0,2963	0,2809
10	0,2475	0,2387	0,2492	0,2516	0,2486	0,2736	0,3014	0,3209	0,3067
20	0,2852	0,2878	0,2952	0,2939	0,3194	0,3305	0,3907	0,4333	0,3902
30	0,4097	0,4470	0,4035	0,4181	0,4522	0,4747	0,6006	0,6361	0,5894
40	0,3747	0,3831	0,3931	0,4155	0,4304	0,4797	0,6033	0,6559	0,6128
50	0,4962	0,5028	0,5116	0,5401	0,5627	0,6236	0,7733	0,8437	0,7899
60	0,5658	0,5791	0,5946	0,6212	0,6442	0,7158	0,8953	0,9730	0,9158
70	0,6450	0,6622	0,6792	0,7144	0,7422	0,8206	1,0306	1,1204	1,0543
80	0,7365	0,7545	0,7766	0,8155	0,8485	0,9385	1,1817	1,2810	1,2053
90	0,8255	0,8489	0,8716	0,9155	0,9521	1,0506	1,3240	1,4325	1,3528
100	0,9077	0,9310	0,9578	1,0093	1,0471	1,1579	1,4588	1,5840	1,4896
200	2,2246	2,2823	2,3183	2,4158	2,5103	2,7246	3,3201	3,5561	3,3935
300	3,2334	3,3186	3,3858	3,5371	3,6582	3,9847	4,8499	5,1840	4,9501
400	4,2513	4,3597	4,4446	4,6367	4,7916	5,2106	6,3371	6,7665	6,4547
500	5,2311	5,3771	5,4810	5,7078	5,9246	6,4372	7,8165	8,3259	7,9481
600	6,3887	6,5702	6,6913	6,9336	7,1942	7,7940	9,3886	9,9904	9,5515
700	7,3754	7,5847	7,7140	8,0016	8,3046	8,9874	10,8173	11,4730	10,9798
800	8,3173	8,5507	8,7081	9,0264	9,3616	10,1236	12,1482	12,8652	12,3250
900	9,5330	9,8062	9,9864	10,3360	10,7156	11,5722	13,7660	14,5508	13,9456
1000	10,4137	10,7076	10,9306	11,2994	11,7064	12,6586	15,0420	15,8915	15,2139
1100	11,3379	11,6675	11,8945	12,3070	12,7578	13,7552	16,3155	17,2147	16,5039
1200	12,3261	12,6820	12,9261	13,3706	13,8558	14,9292	17,6543	18,6215	17,8398
1300	13,1928	13,5856	13,8455	14,3139	14,8289	15,9896	18,8746	19,8998	19,0560
1400	14,2425	14,6550	14,9170	15,4479	15,9850	17,1980	20,2226	21,2727	20,3974
1500	15,1864	15,6379	15,8952	16,4773	17,0598	18,3215	21,4960	22,6132	21,6869
1600	16,1643	16,6368	16,9137	17,5308	18,1236	19,3382	22,5888	23,7063	22,7788
1700	16,6736	17,1621	17,4307	18,1483	18,7689	20,0799	23,5752	24,7309	23,7451
1800	17,2509	17,7496	18,0479	18,7647	19,4211	20,8497	24,4802	25,7204	24,6773
1900	18,3237	18,8108	19,1107	19,9104	20,5863	22,0230	25,8543	27,0783	26,0316
2000	19,5117	20,0539	20,3803	21,2137	21,9199	23,4216	27,3327	28,5324	27,4663
st. dev. · 10 ⁻³	6,2	6,4	6,5	6,8	7,0	7,5	8,8	9,3	8,9

Priloga P: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 40 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	4,0062	4,5240	4,7928	4,8901	4,7001	5,4704	7,2412	6,2287	6,2357
0,2	2,7695	2,7178	2,8467	2,6832	2,7060	3,1978	3,8563	3,7967	3,3340
0,3	2,0493	2,1417	2,1159	2,0376	2,0996	2,4454	2,8314	2,6660	2,7171
0,4	1,4092	1,4159	1,4644	1,4592	1,5406	1,6945	2,0093	2,0001	2,0043
0,5	1,2627	1,2304	1,2196	1,2369	1,3066	1,4299	1,6670	1,6156	1,6062
0,6	1,0194	0,9920	1,0448	1,0274	1,0787	1,2010	1,3737	1,3092	1,3405
0,7	0,8106	0,8840	0,8154	0,8489	0,8415	0,9442	1,1511	1,0948	1,1167
0,8	0,7265	0,7079	0,7302	0,7295	0,7455	0,8331	0,9867	0,9760	0,9525
0,9	0,6368	0,6617	0,6293	0,6464	0,6713	0,7347	0,8856	0,8879	0,8627
1	0,9953	1,0065	1,0035	0,9624	1,0020	1,1026	1,1708	1,2249	1,1775
2	0,5602	0,5534	0,5554	0,5312	0,5446	0,5945	0,6335	0,6723	0,6405
3	0,4217	0,4233	0,4272	0,4186	0,4148	0,4535	0,4774	0,5016	0,4739
4	0,2628	0,2675	0,2642	0,2653	0,2727	0,3036	0,3176	0,3394	0,2973
5	0,2755	0,2843	0,2894	0,2820	0,2758	0,3088	0,3223	0,3454	0,3257
6	0,1742	0,1741	0,1808	0,1675	0,1774	0,1933	0,2151	0,2229	0,1961
7	0,1578	0,1551	0,1639	0,1643	0,1656	0,1830	0,1942	0,2134	0,1939
8	0,2199	0,2236	0,2326	0,2249	0,2313	0,2451	0,2561	0,2755	0,2532
9	0,2036	0,2142	0,2096	0,2120	0,2068	0,2319	0,2517	0,2602	0,2316
10	0,2135	0,2199	0,2268	0,2254	0,2182	0,2323	0,2441	0,2658	0,2492
20	0,1933	0,1929	0,1874	0,1971	0,1875	0,2280	0,2451	0,2553	0,2370
30	0,2638	0,2448	0,2306	0,2481	0,2743	0,2703	0,3061	0,3371	0,3241
40	0,1575	0,1588	0,1620	0,1783	0,1808	0,2037	0,2567	0,2776	0,2586
50	0,2188	0,2205	0,2265	0,2455	0,2487	0,2782	0,3433	0,3658	0,3435
60	0,2323	0,2386	0,2485	0,2649	0,2705	0,3022	0,3749	0,4060	0,3801
70	0,2557	0,2626	0,2725	0,2930	0,3017	0,3363	0,4245	0,4568	0,4278
80	0,2911	0,3005	0,3097	0,3345	0,3455	0,3811	0,4826	0,5205	0,4903
90	0,3260	0,3360	0,3478	0,3721	0,3862	0,4267	0,5397	0,5804	0,5489
100	0,3540	0,3643	0,3767	0,4048	0,4200	0,4639	0,5878	0,6358	0,5985
200	1,1008	1,1259	1,1386	1,1998	1,2299	1,3270	1,5835	1,6704	1,6063
300	1,5492	1,5909	1,6188	1,7068	1,7497	1,8922	2,2642	2,3937	2,2988
400	2,0138	2,0599	2,0907	2,2187	2,2748	2,4520	2,9389	3,1050	2,9884
500	2,4227	2,4928	2,5285	2,6783	2,7657	2,9790	3,6042	3,7983	3,6608
600	3,0342	3,1218	3,1716	3,3165	3,4206	3,6958	4,4049	4,6499	4,4770
700	3,4749	3,5594	3,6212	3,7997	3,9220	4,2538	5,0571	5,3259	5,1437
800	3,8734	3,9766	4,0319	4,2360	4,3789	4,7298	5,6622	5,9605	5,7449
900	4,5388	4,6795	4,7522	4,9820	5,1298	5,5263	6,5556	6,8832	6,6315
1000	4,8923	5,0328	5,1176	5,3650	5,5381	5,9683	7,0963	7,4418	7,1682
1100	5,3011	5,4420	5,5372	5,8076	5,9979	6,4545	7,6851	8,0607	7,7700
1200	5,7607	5,9019	6,0098	6,2957	6,5168	7,0006	8,3273	8,7330	8,4134
1300	6,0914	6,2562	6,3641	6,6721	6,9123	7,4391	8,8469	9,2956	8,9335
1400	6,6421	6,8147	6,9484	7,2876	7,5403	8,0808	9,5863	10,0181	9,6546
1500	7,0292	7,2182	7,3691	7,7453	8,0030	8,6008	10,2266	10,6637	10,2793
1600	7,4905	7,6803	7,8255	8,2303	8,5066	9,1421	10,8218	11,3065	10,8951
1700	7,3375	7,6145	7,7834	8,2413	8,4402	9,2298	11,0541	11,5230	11,1231
1800	7,5366	7,7390	7,8534	8,3825	8,6816	9,3574	11,2817	11,7809	11,3200
1900	8,1525	8,3781	8,4922	9,0680	9,3840	10,0665	12,0565	12,5410	12,1139
2000	8,8468	9,0441	9,1951	9,7835	10,1323	10,8575	12,9314	13,4461	12,9805
st. dev. · 10 ⁻³	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,4	4,0	4,2	4,0

Priloga R: Faktor dielektrične izgube za vzorce olj 1B-9B v odvisnosti od frekvence pri 50 °C.

f (kHz)	$\epsilon'' \cdot 10^{-3}$								
	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B
0,1	7,2977	8,0885	7,8541	7,5301	7,5153	9,2513	10,7427	10,5921	10,0565
0,2	3,9165	3,9472	4,0281	3,9166	4,2766	5,1268	5,3928	5,7973	5,5965
0,3	3,0011	3,0263	3,1190	2,9303	3,0350	3,3768	4,1710	3,8784	3,9347
0,4	2,0884	2,1290	2,1328	2,1948	2,1521	2,4740	3,0020	2,8240	2,8398
0,5	1,7314	1,7831	1,8106	1,8164	1,8759	2,0741	2,4061	2,3807	2,4033
0,6	1,4812	1,4684	1,4936	1,5175	1,5109	1,7006	2,0006	1,9500	1,9751
0,7	1,2215	1,2508	1,2355	1,2465	1,2186	1,4173	1,6980	1,6851	1,6882
0,8	1,0422	1,0623	1,0551	1,0751	1,1104	1,2240	1,4777	1,4449	1,4319
0,9	0,9382	0,9460	0,9607	0,9578	1,0111	1,1197	1,3233	1,2896	1,2907
1	1,2559	1,3042	1,2961	1,2614	1,2849	1,4251	1,5862	1,6012	1,5370
2	0,6708	0,6875	0,6993	0,6689	0,6795	0,7500	0,8329	0,8309	0,8144
3	0,4934	0,5080	0,5098	0,4939	0,5038	0,5505	0,5987	0,6090	0,5905
4	0,3235	0,3369	0,3430	0,3209	0,3314	0,3644	0,3966	0,4107	0,3925
5	0,3172	0,3358	0,3448	0,3272	0,3192	0,3541	0,3913	0,4033	0,3803
6	0,1960	0,2067	0,2169	0,2074	0,2036	0,2322	0,2547	0,2719	0,2473
7	0,1801	0,1920	0,1957	0,1904	0,1875	0,2138	0,2228	0,2420	0,2191
8	0,2240	0,2471	0,2500	0,2364	0,2432	0,2573	0,2810	0,2914	0,2745
9	0,1982	0,2216	0,2308	0,2240	0,2178	0,2425	0,2544	0,2709	0,2535
10	0,2081	0,2244	0,2315	0,2260	0,2308	0,2337	0,2639	0,2714	0,2493
20	0,1474	0,1565	0,1678	0,1587	0,1708	0,1800	0,2097	0,2065	0,1931
30	0,2080	0,1981	0,2144	0,1996	0,1628	0,2064	0,2814	0,2733	0,2336
40	0,0882	0,0884	0,0924	0,1058	0,1070	0,1220	0,1542	0,1635	0,1537
50	0,1291	0,1325	0,1381	0,1520	0,1515	0,1702	0,2081	0,2243	0,2090
60	0,1269	0,1304	0,1386	0,1510	0,1527	0,1710	0,2156	0,2327	0,2172
70	0,1301	0,1337	0,1439	0,1577	0,1584	0,1828	0,2365	0,2544	0,2362
80	0,1497	0,1531	0,1625	0,1788	0,1826	0,2080	0,2666	0,2846	0,2674
90	0,1647	0,1705	0,1818	0,1987	0,2050	0,2276	0,2948	0,3183	0,2984
100	0,1690	0,1783	0,1912	0,2122	0,2165	0,2446	0,3160	0,3413	0,3185
200	0,7410	0,7454	0,7603	0,8053	0,8171	0,8814	1,0224	1,0713	1,0406
300	1,0132	1,0244	1,0604	1,1146	1,1354	1,2155	1,4381	1,5046	1,4588
400	1,2992	1,3047	1,3419	1,4332	1,4477	1,5599	1,8431	1,9362	1,8733
500	1,5313	1,5514	1,5951	1,6991	1,7420	1,8674	2,2268	2,3346	2,2566
600	1,9634	1,9817	2,0404	2,1392	2,1905	2,3634	2,7876	2,9184	2,8175
700	2,2304	2,2554	2,3182	2,4318	2,4979	2,6919	3,1685	3,3473	3,2244
800	2,4393	2,4661	2,5341	2,6673	2,7547	2,9685	3,5093	3,6919	3,5788
900	2,9137	2,9616	3,0574	3,2130	3,2981	3,5348	4,1591	4,3403	4,2216
1000	3,0763	3,1322	3,2264	3,4044	3,5094	3,7747	4,4346	4,6563	4,5208
1100	3,3245	3,3712	3,4625	3,6624	3,7716	4,0592	4,7896	5,0085	4,8641
1200	3,6204	3,6628	3,7662	3,9788	4,0995	4,4017	5,1784	5,4223	5,2665
1300	3,7743	3,8164	3,9393	4,1619	4,2887	4,6292	5,4564	5,7203	5,5321
1400	4,1197	4,1797	4,3094	4,5560	4,7035	5,0611	5,9696	6,2259	6,0468
1500	4,3509	4,3957	4,5247	4,7867	4,9397	5,3395	6,3105	6,6161	6,4053
1600	4,6039	4,6659	4,8121	5,1142	5,2697	5,6916	6,7045	7,0088	6,7973
1700	4,3159	4,3516	4,5244	4,8857	5,0555	5,4482	6,6461	6,9702	6,7078
1800	4,3662	4,3647	4,5167	4,9273	5,1122	5,4910	6,6609	6,9596	6,7316
1900	4,7428	4,8086	4,9639	5,4385	5,6098	6,0080	7,2509	7,5260	7,3239
2000	5,2726	5,3546	5,5303	6,0151	6,1759	6,6382	7,8765	8,1673	7,9655
st. dev. · 10 ⁻³	1,8	1,9	1,9	2,0	2,0	2,3	2,7	2,8	2,7

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ŽIVILSTVO

Klavdija ZALOKAR

**POVEZAVA MED KLASIČNIMI METODAMI
DOLOČITVE STOPNJE OKSIDACIJE RASTLINSKIH
OLJ IN NJIHOVIMI DIELEKTRIČNIMI
LASTNOSTMI**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2012

